



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Propuesta de implementación de carril bus en un tramo
piloto de la Avenida Grau empleando Vissim**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

**Gina Lizbeth Simbaña Zapata
Tula Alejandra Soto Arrieta**

Asesor:
Mgtr. Ing. Jenny Carolina Sánchez Ramírez

Piura, febrero de 2024



UNIVERSIDAD
DE PIURA

Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Gina Lizbeth Simbaña Zapata, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI N° 73046252.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor del trabajo final titulado:
"Propuesta de implementación de carril bus en un tramo piloto de la Avenida Grau empleando Vissim"
El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis¹ para optar el Título profesional² de Ingeniero Civil.
2. Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.
 - Tula Alejandra Soto Arrieta, identificado con DNI N° 70275360
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
3. La asesoría del trabajo estuvo a cargo de:
 - Jenny Carolina Sánchez Ramírez, identificado con DNI N° 72748177
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
4. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros o de ser el caso derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
5. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
6. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
7. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad de Piura.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: 31/01/2024.

Firma del autor optante³



Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Tula Alejandra Soto Arrieta, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI N° 70275360.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor del trabajo final titulado:
"Propuesta de implementación de carril bus en un tramo piloto de la Avenida Grau empleando Vissim"
El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis¹ para optar el Título profesional² de Ingeniero Civil.
2. Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.
 - Gina Lizbeth Simbaña Zapata, identificado con DNI N° 73046252
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
3. La asesoría del trabajo estuvo a cargo de:
 - Jenny Carolina Sánchez Ramírez, identificado con DNI N° 72748177
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
4. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros o de ser el caso derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
5. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
6. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
7. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad de Piura.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: 31/01/2024.

Firma del autor optante³

¹ Indicar si es tesis, trabajo de investigación, trabajo académico o trabajo de suficiencia profesional.

² Grado de Bachiller, Título profesional, Grado de Maestro o Grado de Doctor.

³ Idéntica al DNI; no se admite digital, salvo certificado.

Dedicatoria

A Dios, por estar siempre a mi lado en todo momento de mi vida; a mi tía Yoli, por ser mi motivación y apoyo incondicional; a mi madre Isabel, por siempre impulsarme a ser mejor; y a mis abuelitos Eda y Vicente, quienes siempre han creído en mí.

A Dios y la Virgen María, por guiarme a lo largo de este arduo camino con fortaleza; a mis padres, Elliot y Gertrudis, por ser mi mayor ejemplo de resiliencia y superación; a mis hermanos, José, Elliot y Sofía, por mostrarme su bondad, compañerismo y amor; a mi abuelita Lujá, por su dulzura y apoyo incondicional; a Álvaro, por ser mi cómplice y motor constante en este desafío; y en especial, a mi mamá Celia, mi ángel.

Espero pueda sentirse orgullosa de este logro, yo desde aquí, guardo por siempre en mi corazón, el eterno recuerdo de sus abrazos cálidos y el sonido de su voz y su risa.



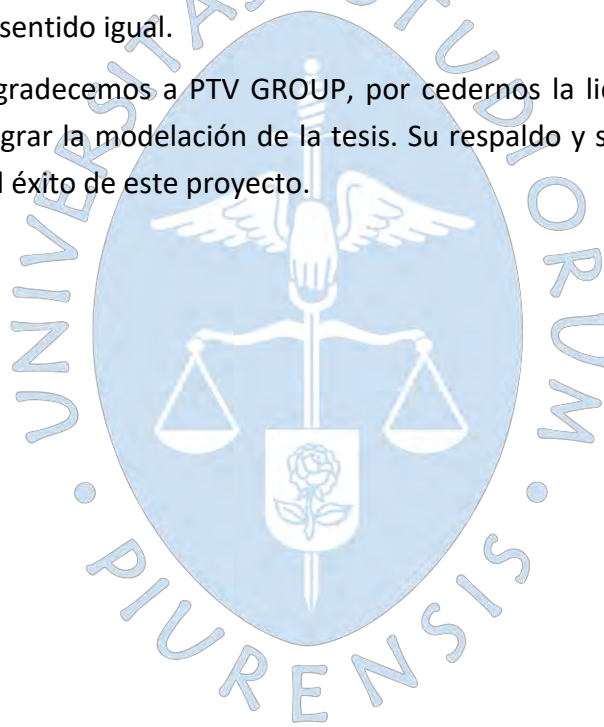
Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a nuestra casa de estudios, la Universidad de Piura, por brindarnos una educación de calidad y excelentes docentes durante estos cinco años. El edificio 80 y el “E”, son testigos de nuestro crecimiento personal y profesional; aulas donde aprendimos a ser mejores personas y mejores profesionales para formar una sociedad mejor.

A nuestra asesora, Jenny Sánchez, por su apoyo desde el primer momento que le comentamos la idea de tesis, por siempre haber creído en nosotras, y habernos brindado su tiempo, dedicación y mentoría a lo largo de este proceso.

A nuestros amigos de la universidad, por haber compartido cada ciclo de la carrera con nosotros y por convertir los días bonitos en la universidad en días extraordinarios y los días no tan buenos, en días mejores. Gracias por todos los momentos juntos, sin ustedes la carrera no se hubiese sentido igual.

Finalmente, agradecemos a PTV GROUP, por cedernos la licencia del software PTV VISSIM, para poder lograr la modelación de la tesis. Su respaldo y soporte técnico han sido fundamentales para el éxito de este proyecto.



Resumen

En la Provincia de Piura, el transporte público representa un 68% de los viajes, siendo estos en buses, mototaxis, taxis y taxis colectivos; sin embargo, la mayoría se realizan en unidades de baja capacidad como mototaxis y taxis, por lo que la presencia constante de estos vehículos congestiona el sistema vial de Piura. La presente investigación se enfocó en evaluar la viabilidad de una propuesta destinada a fomentar el uso de transporte público en un tramo piloto de la avenida Grau mediante la implementación de un carril exclusivo para buses.

Se recopilaron datos de campo, como la geometría de la vía, volúmenes vehiculares y ciclos semafóricos. Posteriormente, mediante el uso del software Vissim 24 y con cálculos analíticos, se evaluaron tres escenarios, cada uno con una variante evaluada proyectando el tráfico hacia el año 2027. El modelo de microsimulación fue calibrado mediante el indicador GEH.

El primer escenario refleja la situación de tráfico actual, considerando la geometría existente; además de considerarse una variante de este escenario con tráfico proyectado 5 años a futuro. El segundo escenario considera la implementación de un carril segregado exclusivo para buses al lado derecho de la vía, evaluado en el año base y con tráfico proyectado al año 2027. Finalmente, el tercer escenario, evaluado también en el año 2022 y 2027, propone un carril bus segregado en el lado derecho de la vía, considerando una reducción del 15% sobre el volumen actual y sobre el volumen proyectado de vehículos privados, además de la prohibición de circulación de mototaxis y motos lineales en la Av. Grau, los cuales se identificaron como los principales contribuyentes al caos vehicular. La evaluación de las condiciones de circulación en los tres escenarios se basó en la evaluación de parámetros de eficiencia proporcionados por el software, como la longitud de las colas, los niveles de servicio, y el tiempo de viaje y las velocidades del transporte público.

Los resultados revelaron que la introducción de los carriles para buses en el segundo y tercer escenario condujo a una reducción en el tiempo de viaje de los autobuses. Esto implica que podrían operar de manera más eficiente, lo que resultaría en un ahorro de tiempo para los pasajeros que optan por utilizar este medio de transporte. Esta mejora de más de dos minutos al año 2022 y más de cinco minutos al año 2027 en promedio de los tres escenarios, sugiere que el transporte público podría volverse más atractivo para los usuarios debido a sus menores tiempos de viaje. Además, las velocidades de los buses aumentaron en más de 6 km/h al 2022 y más de 9 km/h al 2027 en ambos sentidos de la vía. Este cambio reflejó la prioridad otorgada al transporte, aunque con un impacto en la velocidad de los vehículos privados que comparten la vía.

Esta investigación busca impulsar gradualmente la transición del uso del transporte privado hacia el transporte público y se espera que sea útil para la toma de decisiones de las autoridades competentes.

Tabla de contenido

Introducción	17
Capítulo 1 Marco Teórico	18
1.1 Ingeniería de tránsito.....	18
1.1.1 Enfoque de estudio de la Ingeniería de tránsito	18
1.2 Movilidad Urbana.....	18
1.2.1 Insostenibilidad global en el sector transporte	19
1.2.2 Movilidad urbana sostenible	20
1.3 Transporte público.....	21
1.3.1 Transporte masivo en autobuses.....	23
1.3.2 Carril bus.....	23
1.4 Conceptos de capacidad vial y niveles de servicio.....	25
1.4.1 Capacidad Vial	25
1.4.2 Niveles de servicio.....	25
1.5 Aforo y conteo vehicular.....	27
1.5.1 Métodos de aforo.....	27
1.5.2 Metodología para realizar conteos vehiculares	27
1.6 Volúmenes de tránsito.....	27
1.6.1 Campos de uso de volúmenes de tránsito	28
1.7 Longitud de colas.....	28
1.8 Tiempos de viaje.....	28
1.9 Dispositivos de control de tráfico.....	28
1.9.1 Señales verticales	29
1.9.2 Señalización horizontal.....	29
1.9.3 Semáforos.....	30
1.10 Volumen de tráfico a futuro.....	30
1.10.1 Componentes del volumen del tránsito futuro	31
1.11 Tipos de modelación de tráfico.....	32
1.11.1 Modelos macroscópicos	32
1.11.2 Modelos mesoscópicos	32

1.11.3 Modelos microscópicos	32
1.12 Microsimulación en Vissim.....	33
1.12.1 Vissim.....	33
1.12.2 Construcción de un modelo Vissim	33
1.12.3 Modelo de seguimiento vehicular Wiedemann 1974	33
1.12.4 Formas de calibración para una microsimulación	34
1.12.5 Número semilla	34
1.12.6 Número de corridas.....	35
1.12.7 Warm up	36
1.12.8 Calibración	36
Capítulo 2 Diagnóstico de la situación actual de la Avenida Grau	38
2.1 Antecedentes del transporte público a nivel nacional e internacional.....	38
2.2 Ubicación de la vía en estudio.....	41
2.3 Datos generales de la zona de estudio.....	44
2.3.1 Puntos de atracción.....	44
2.3.2 Tipos de vehículos.....	44
2.4 Problemática actual en la zona de estudio.....	46
2.5 Empresas de transporte público en la avenida Grau.....	53
2.6 Evaluación del servicio de transporte público en la Avenida Grau.....	53
Capítulo 3 Metodología, recolección y procesamiento de datos de campo	56
3.1 Metodología.....	56
3.2 Recolección y procesamiento de datos de campo.....	58
3.2.1 Selección de intersecciones de estudio.....	58
3.2.2 Características geométricas.....	59
3.2.3 Aforo vehicular y flujogramas por intersección.....	64
3.2.4 Repartición modal de vehículos	76
3.2.5 Ciclos semafóricos	79
Capítulo 4 Diseño y evaluación de la propuesta con Vissim	85
4.1 Diseño del carril bus.....	85
4.2 Ubicación y diseño de paraderos de transporte público.....	87

4.2.1	Ubicación de paraderos de transporte público	88
4.2.2	Diseño de paraderos de transporte público	93
4.3	Señalización y demarcación del pavimento	99
4.4	Dispositivos de segregación de carriles	101
4.5	Creación y calibración del modelo en Vissim.....	102
4.5.1	Creación de red vial	102
4.5.2	Volúmenes de Tránsito y Composición vehicular	104
4.5.3	Puntos de conflicto y reglas de prioridad	106
4.5.4	Creación de pasos peatonales	107
4.5.5	Creación de rutas.....	108
4.5.6	Creación e implementación de control semafórico	109
4.5.7	Zonas de paradas y líneas de transporte público	110
4.5.8	Calibración	113
4.6	Modelo 3D en vissim 24.....	117
4.7	Simulación de primer escenario: Tráfico actual en del tramo de estudio.....	119
4.8	Simulación de segundo escenario: Implementación de carril bus.....	128
4.9	Simulación de tercer escenario: Implementación de carril bus con tendencia a la disminución de vehículos particulares.....	132
Capítulo 5 Análisis de resultados y mejoras complementarias.....		140
5.1	Comparación de resultados obtenidos de los tres escenarios.....	140
5.1.1	Comparativa de longitud de cola.....	141
5.1.2	Comparativa de niveles de servicio.....	142
5.1.3	Comparativa de tiempos de viaje de buses de transporte público	143
5.1.4	Comparativa de velocidades de buses de transporte público	144
5.2	Mejoras adicionales.....	146
5.2.1	Maniobras permitidas con la implementación de carril bus.....	146
5.2.2	Sistema de monitoreo y adaptación.....	147
5.2.3	Implementación de buses eléctricos	148
5.2.4	Mantenimiento de proyecto	153

Conclusiones.....	154
Recomendaciones.....	156
Referencias.....	158
Apéndices.....	165
Apéndice A Aforo vehicular intersección Av. Grau – Av. Vice.....	166
Apéndice B Aforo vehicular intersección Av. Grau – Av. Gulman.....	168
Apéndice C Aforo vehicular intersección Av. Grau – Av. Gulman.....	170



Lista de tablas

Tabla 1 Detalle de los niveles de servicio para intersecciones semafóricas.....	26
Tabla 2 Número mínimo de repeticiones necesarias para obtener el intervalo de confianza deseado	36
Tabla 3 Criterios de validación GEH.....	37
Tabla 4 Coordenadas de inicio y fin de la zona de estudio.....	43
Tabla 5 Geometría en la intersección Av. Grau con Av. Vice	60
Tabla 6 Geometría en la intersección Av. Grau con Av. Gulman	60
Tabla 7 Geometría en la intersección Av. Grau con Av. San Martín	60
Tabla 8 Geometría de veredas en la Av. Grau.....	61
Tabla 9 Geometría de separadores centrales en la Av. Grau.....	61
Tabla 10 Geometría de secciones entre vereda y sardinel en la Av. Grau	61
Tabla 11 Factores de conversión a unidades de vehículos equivalentes	66
Tabla 12 Vehículos físicos contabilizados en la Av. Grau - Av. Vice.....	67
Tabla 13 Vehículos equivalentes en la Av. Grau - Av. Vice.....	68
Tabla 14 Vehículos físicos contabilizados en la Av. Grau - Av. Gulman.....	70
Tabla 15 Vehículos equivalentes en la Av. Grau - Av. Gulman.....	71
Tabla 16 Vehículos físicos contabilizados en la Av. Grau - Av. San Martín.....	73
Tabla 17 Vehículos equivalentes en la Av. Grau - Av. San Martín.....	74
Tabla 18 Tiempos semafóricos de fase I de la Av. Grau - Av. Vice	80
Tabla 19 Tiempos semafóricos de fase II de la Av. Grau - Av. Vice	81
Tabla 20 Tiempos semafóricos de fase I de la Av. Grau - Av. Gulman	82
Tabla 21 Tiempos semafóricos de fase II de la Av. Grau - Av. Gulman	82
Tabla 22 Tiempos semafóricos de fase I de la Av. Grau - Av. San Martín	84
Tabla 23 Tiempos semafóricos de fase II de la Av. Grau - Av. San Martín	84
Tabla 24 Consideraciones de distancia de paraderos.....	88
Tabla 25 Ventajas y desventajas en la localización de paraderos.....	89
Tabla 26 Medidas de veredas sentido oeste – este en zona de paraderos a implementar	95
Tabla 27 Medidas de veredas sentido este – oeste en zona de paraderos a implementar	96
Tabla 28 Tiempo de subida y bajada de pasajeros Av. Grau - Av. Gulman	112

Tabla 29 Cálculo de la desviación estándar (S) para calcular número de corridas	113
Tabla 30 Cálculo de Intervalo de confianza (CI).....	115
Tabla 31 Número mínimo de repeticiones necesarias para obtener el intervalo de confianza deseado	115
Tabla 32 Cálculo del GEH	116
Tabla 33 Resultados promedio de los nodos evaluados en la Av. Grau en escenario 1	121
Tabla 34 Velocidad promedio del transporte público Av. Grau en escenario 1	122
Tabla 35 Parque automotor en circulación a nivel nacional, 2000-2021	123
Tabla 36 Crecimiento del parque automotor proyectado a un futuro de 5 años	125
Tabla 37 Volumen de tráfico proyectado a 5 años a futuro	126
Tabla 38 Resultados promedio de los nodos evaluados en la Av. Grau en variante de escenario 1 con proyección al año 2027	127
Tabla 39 Velocidad promedio del transporte público Av. Grau en variante de escenario 1 con proyección al año 2027.....	128
Tabla 40 Resultados promedio de los nodos evaluados en la Av. Grau en escenario 02	129
Tabla 41 Velocidad promedio del transporte público Av. Grau en escenario 02	130
Tabla 42 Resultados promedio de los nodos evaluados en la Av. Grau en variante de escenario 2 con proyección al año 2027	131
Tabla 43 Velocidad promedio del transporte público Av. Grau en variante de escenario 2 con proyección al año 2027.....	132
Tabla 44 Volumen de tráfico año 2022 reducido en 15%.....	133
Tabla 45 Resultados promedio de los nodos evaluados en la Av. Grau en escenario 03	135
Tabla 46 Velocidad promedio del transporte público Av. Grau en escenario 03	136
Tabla 47 Volumen de tráfico año 2027 reducido en 15%.....	136
Tabla 48 Resultados promedio de los nodos evaluados en la Av. Grau en variante de escenario 3 con proyección al año 2027	138
Tabla 49 Velocidad promedio del transporte público Av. Grau en variante de escenario 3 con proyección al año 2027.....	139
Tabla 50 Cuadro comparativo de resultados de los tres escenarios	141

Lista de figuras

Figura 1 Pirámide de sostenibilidad urbana	20
Figura 2 Comparación de espacio ocupado por 200 personas en automóviles, bus y tren	22
Figura 3 Carril exclusivo para buses con ómnibus articulado en la vía expresa años 70	23
Figura 4 Tres modos de carril solo bus	24
Figura 5 Niveles de Servicio.....	26
Figura 6 Ejemplo de demarcación de paraderos de buses.....	30
Figura 7 Diferencia entre el tipo de modelación macroscópica, mesoscópica y microscópica	33
Figura 8 Inicio y final de propuesta de carril bus en la Av. Grau	42
Figura 9 Ubicación del tramo piloto en la zona de estudio.....	43
Figura 10 Tipos de vehículos circulando por la Av. Grau	45
Figura 11 Veredas en mal estado en la Av. Grau	46
Figura 12 Inexistencia de veredas en el sector oeste de la Av. Grau.....	46
Figura 13 Graderías del hospital Reátegui en mal estado.....	47
Figura 14 Pavimento destruido en diferentes zonas de la Av. Grau.....	47
Figura 15 Cronómetro poco legible en Av. Grau – Av. Gulman	48
Figura 16 Semáforo vehicular malogrado en Av. Grau – Av. San Martín.....	48
Figura 17 Semáforos sin señales informativas en intersección Av. Grau con Av. Vice	48
Figura 18 Intersecciones de la Av. Grau con demarcación horizontal desgastada o ausente ..	49
Figura 19 Señalización vertical en paraderos de buses en mal estado en la Av. Grau	49
Figura 20 Paradero de servicio público en mal estado en la Av. Grau	50
Figura 21 Pasajeros subiendo y bajando en la Av. Grau, sin respetar los paraderos oficiales .	51
Figura 22 Usuarios esperando en zona de paraderos prohibidos.....	51
Figura 23 Zona de áreas verdes sin mantenimiento en Av. Grau	52
Figura 24 Maquinaria pesada transitando por la Av. Grau en hora punta del día	52
Figura 25 Riego de jardines en la Av. Grau con cisterna en hora punta de la mañana	52
Figura 26 Bus de transporte público deteniéndose a mitad del carril para recoger pasajeros	53
Figura 27 Señales informativas dentro del bus de transporte público	54
Figura 28 Señal de "Avisar una cuadra antes de bajar"	54
Figura 29 Modalidad "Chofer cobrador"	54

Figura 30 Pasajeros no sentados en los asientos del bus.....	55
Figura 31 Intersecciones en estudio de la Av. Grau.....	59
Figura 32 Toma de medidas de secciones en estudio en la Av. Grau	59
Figura 33 Extensión de tramo 1.....	62
Figura 34 Dimensiones de sección transversal 01.....	62
Figura 35 Extensión de tramo 2.....	63
Figura 36 Dimensiones de sección transversal 02.....	63
Figura 37 Vista de la intersección Av. Grau – Av. Vice	64
Figura 38 Vista de la intersección Av. Grau – Av. Gulman	64
Figura 39 Vista de la intersección Av. Grau – Av. San Martín	64
Figura 40 Clasificación de vehículos según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones ..	65
Figura 41 Flujograma vehicular equivalente Av. Grau - Av. Vice	69
Figura 42 Flujograma vehicular equivalente Av. Grau - Av. Gulman	72
Figura 43 Flujograma vehicular equivalente Av. Grau - Av. San Martín	75
Figura 44 Tipos de vehículos en Av. Grau - Av. Vice	76
Figura 45 Tipos de transporte en Av. Grau - Av. Vice	77
Figura 46 Tipos de vehículos en Av. Grau - Av. Gulman.....	77
Figura 47 Tipos de transporte en Av. Grau - Av. Gulman.....	78
Figura 48 Tipos de vehículos en Av. Grau - Av. San Martín	78
Figura 49 Tipos de transporte en Av. Grau - Av. San Martín	79
Figura 50 Esquema de la Av. Grau - Av. Vice.....	80
Figura 51 Diagrama del movimiento de fase I del semáforo de la Av. Grau - Av. Vice.....	80
Figura 52 Diagrama del movimiento de fase II del semáforo de la Av. Grau - Av. Vice.....	80
Figura 53 Ciclo semafórico de la intersección Av. Grau - Av. Vice	81
Figura 54 Esquema de la Av. Grau - Av. Gulman.....	81
Figura 55 Diagrama del movimiento de fase I del semáforo de la Av. Grau - Av. Gulman	82
Figura 56 Diagrama del movimiento de fase II del semáforo de la Av. Grau - Av. Gulman	82
Figura 57 Ciclo semafórico de la intersección Av. Grau - Av. Gulman	83
Figura 58 Esquema de la Av. Grau - Av. San Martín.....	83
Figura 59 Diagrama del movimiento de fase I del semáforo de la Av. Grau - Av. San Martín ..	83

Figura 60 Diagrama del movimiento de fase II del semáforo de la Av. Grau - Av. San Martín .	84
Figura 61 Ciclo semafórico de la intersección Av. Grau - Av. San Martín	84
Figura 62 Propuesta de implementación de un carril bus en sección transversal 1	86
Figura 63 Propuesta de implementación de un carril bus en sección transversal 2	87
Figura 64 Ubicación de paraderos en la Av. Grau. Recorrido de oeste a este.....	90
Figura 65 Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau – Jr. Las Lomas	90
Figura 66 Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau – Av. Gulman.....	91
Figura 67 Paradero después del cruce de la intersección Av. Grau – Jr. Pedro de León	91
Figura 68 Ubicación de paraderos en la Av. Grau. Recorrido de este a oeste.....	92
Figura 69 Paradero después del cruce de la intersección Av. Grau - San Martín.....	92
Figura 70 Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau – Jr. Tomas Dieguez.	93
Figura 71 Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau - Jr. Tomás Cortéz	93
Figura 72 Dimensión de veredas y tipos de módulos (hasta 4 m)	94
Figura 73 Dimensiones de veredas y tipos de módulos (de 4 m a más)	94
Figura 74 Dimensiones de veredas para colocación de panel publicitario de piso	95
Figura 75 Paradero de señal única con tótem solar o híbrido	97
Figura 76 Modelo 3D de paradero de señal única con tótem.....	97
Figura 77 Paradero de módulo simple	98
Figura 78 Modelo 3D de paradero tipo módulo simple (MS)	99
Figura 79 Señal vía segregada para buses: SOLO BUS.....	100
Figura 80 Ejemplo de aplicación de incorporación a carriles exclusivos.....	101
Figura 81 Barrera o tranquera tipo maletín	101
Figura 82 Ubicación del tramo de estudio en el mapa por defecto	103
Figura 83 Pestaña del comando Links	103
Figura 84 Pestaña Connector.....	104
Figura 85 Pestaña 2D/3D Model Distribution	105
Figura 86 Modelo de mototaxi creado con la herramienta Sketchup.....	105
Figura 87 Volúmenes en unidades mixtas por cada acceso	106
Figura 88 Composiciones vehiculares con velocidades.....	106
Figura 89 Definición de áreas de conflicto	107

Figura 90 Creación de líneas peatonales.....	107
Figura 91 Ingreso de volumen peatonal (Punto negro), punto inicial de ruta peatonal (Punto rojo) y punto de destino de una ruta peatonal (Punto azul).....	108
Figura 92 Creación de rutas.....	108
Figura 93 Herramienta Signal Controller	109
Figura 94 Asignación de fases y tiempos semafóricos intersección Av. Grau-Av. Vice.....	109
Figura 95 Asignación de fases y tiempos semafóricos intersección Av. Grau-Av. Gulman.....	109
Figura 96 Asignación de fases y tiempos semafóricos intersección Av. Grau-Av. San Martín	110
Figura 97 Herramienta Public Transport Line en Vissim	110
Figura 98 Herramienta Public Transport Stop en Vissim.....	110
Figura 99 Creación de paradero de transporte público	111
Figura 100 Public Transportation line.....	113
Figura 101 Desviación estándar de la Av. Vice obtenida de la simulación	114
Figura 102 Tabla de distribución de t de student (dos colas).....	114
Figura 103 Tramo de estudio en Vissim 24.....	117
Figura 104 Modelo 3D desarrollado en Vissim 24 - Intersección Av. Grau - Av. Vice.....	117
Figura 105 Modelo 3D desarrollado en Vissim 24 - Intersección Av. Grau - Av. Gulman.....	118
Figura 106 Modelo 3D desarrollado en Vissim 24 - Intersección Av. Grau - Av. San Martín..	118
Figura 107 Modelo 3D de paradero tipo 1 (derecha) y paradero tipo 2 (izquierda).....	119
Figura 108 Crecimiento del parque automotor en circulación de la ciudad de Piura.....	124
Figura 109 Ciclovía en Av. Sullana Norte invadida por mototaxis	147
Figura 110 Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao fiscalizando	148
Figura 111 Panel informativo en paraderos oficiales	149
Figura 112 Interior del Expreso San Isidro.....	149
Figura 113 Rampa de acceso para personas con discapacidad.....	150
Figura 114 Sistema de videovigilancia en el Expreso San Isidro	150
Figura 115 Puertos USB dentro del Expreso San Isidro	150
Figura 116 Soporte para carga de bicicletas del Expreso San Isidro	151
Figura 117 Sistema de carga para el Expreso San Isidro	151
Figura 118 Bus eléctrico en la ciudad de Arequipa	152

Introducción

En los últimos años, el rápido aumento de la población en la ciudad de Piura ha generado un notable incremento en la cantidad de vehículos en circulación, lo que ha intensificado los problemas de congestión en las principales vías de la ciudad. Actualmente, la avenida Grau se destaca como una de las principales vías arteriales de Piura, donde los ciudadanos son testigos de las largas filas de vehículos y los congestionamientos que se producen durante las horas más concurridas.

A través de este proyecto de tesis se busca realizar un análisis operacional de esta zona, haciendo uso del software Vissim, con el objetivo de evaluar la viabilidad de un proyecto que busca fomentar el uso del transporte público en la Avenida Grau mediante la incorporación de un carril exclusivo para buses. Para la fase de diseño y simulación de la propuesta, se ha seleccionado un tramo específico de esta avenida, que se extiende desde la intersección con la Avenida Vice hasta la intersección con la Avenida San Martín. La elección de este tramo más corto en lugar de uno más extenso se justifica por la necesidad de verificar la viabilidad de la solución propuesta aplicada al tramo más representativo de la Avenida Grau. Este tramo en particular abarca dos áreas con diferentes diseños geométricos, una con un separador central y otra sin él, además de incluir una intersección de gran importancia en Piura: la intersección entre la Avenida Grau y la Avenida Gulman, que es conocida por ser un punto crítico en términos de congestión vehicular. Adicionalmente, este tramo cuenta con destacados lugares de interés, como centros comerciales, hospitales, instituciones educativas, lugares de culto, estaciones de servicio, entidades gubernamentales y empresas privadas, entre otros. Estos elementos contribuyen a una afluencia significativa de tráfico, convirtiendo esta sección de la Avenida Grau en una de las más transitadas.

Con el objetivo de establecer un sistema de transporte público eficiente, en la fase de diseño se evaluarán aspectos como los niveles de servicio, la longitud de las colas y los tiempos de recorrido y velocidades de los buses del transporte público, de modo que se adapten a las necesidades de los usuarios.

Esta investigación tiene como propósito contribuir a la mejora y la promoción del uso del transporte público en la ciudad de Piura. Se busca no solo aliviar la congestión en la Avenida Grau, sino que el transporte público sea una opción atractiva y conveniente para cada vez más personas. A través de esta iniciativa, se aspira a que un número creciente de ciudadanos deje de depender del transporte privado en favor del transporte público, promoviendo así una movilidad más sostenible y eficiente en la ciudad.

Capítulo 1

Marco Teórico

1.1 Ingeniería de tránsito

Quintero – Gonzales (2017) define a la ingeniería de tránsito como una ciencia, la cual tiene su origen en la ingeniería de transporte. Su principal objetivo es el estudio de los elementos de tránsito como lo son: peatón, conductor, vehículo, señalización, vía y dispositivos de control del tránsito. Además, estudia la forma de comportarse de las variables macroscópicas tales como: densidad, volumen vehicular y velocidad. Producto del estudio de estos elementos y variables es que se han podido brindar soluciones a la congestión vehicular, los tiempos de viaje, la accidentalidad y el nivel de servicio tanto en áreas urbanas como rurales. Por otro lado, el *Institute of Transportation Engineers* (1999) conceptualiza a la Ingeniería de transporte de la siguiente forma:

Aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, al proyecto funcional, a la operación y a la administración de las diversas partes de cualquier modo de transporte, con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de una manera segura, rápida, confortable, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente.

1.1.1 Enfoque de estudio de la Ingeniería de tránsito

El estudio de la ingeniería de tránsito ha permitido determinar modelos de regresión logarítmica, lineal y exponencial entre la velocidad, el volumen y la densidad del tránsito, los cuales han hecho posible que se puedan realizar pronósticos del comportamiento que tendrá cada variable con respecto a las demás. Además, en base a los resultados de dichos estudios es posible calcular la capacidad y los niveles de servicio de calles y carreteras de forma óptima.

Hoy en día, a partir de las distintas modelaciones del tránsito mediante softwares se ha podido mejorar y entender el comportamiento de los flujos peatonales y vehiculares, asimismo se ha mejorado la gestión de la movilidad urbana a través de la modernización y mejora de dispositivos de control, infraestructuras y el rediseño geométrico de elementos. Sin embargo, la otra cara de la moneda en este escenario es que se ha descuidado el estudio de la movilidad urbana sostenible, teniendo en cuenta al medio ambiente, el valor económico y la equidad social (Quintero – Gonzales 2017).

1.2 Movilidad Urbana

Según el diccionario de la Real Academia Española, movilidad es la capacidad de moverse o de recibir movimiento, conforme a esta definición se puede identificar la movilidad urbana con la capacidad y/o posibilidad de moverse en la ciudad. Es así como la movilidad está ligada a las personas que se desplazan, mas no a los medios empleados para ello, ni a las consecuencias que los desplazamientos puedan tener (Mataix, 2010).

Por otro lado, Velásquez (2015), brinda un concepto similar, definiendo a la movilidad urbana como la suma de desplazamientos que realizan los ciudadanos para acceder a los servicios necesarios con el fin de completar sus quehaceres diarios, recalcando que los medios de transporte solo son los instrumentos que facilitan la realización de estos desplazamientos. “La palabra movilidad ha ido desplazando a la palabra transporte, no por motivos coyunturales sino porque realmente son conceptos de diferente alcance.” (Herce, 2013, p. 13).

Jans (2009, p. 11) concluye en su artículo que el término “movilidad urbana” implica que el usuario aproveche al máximo el recorrido gracias a la conexión eficiente de los distintos tipos de transporte. Asimismo, el Banco de Desarrollo de América Latina (2013), menciona que la movilidad urbana es un factor determinante para la productividad económica de la ciudad y para que los ciudadanos tengan acceso a los servicios básicos de educación y salud.

Montezuma (2003), también hace referencia a que uno de los problemas de la movilidad urbana tiene relación con la forma en la que está organizada la ciudad, la cual raramente es el resultado de las exigencias del sistema de movilidad, produciendo que el transporte individual ocupe excesivamente el espacio urbano, menospreciando así a la movilidad colectiva. Ejemplo de esto están son ciudades de los países en desarrollo, en las que el sistema de movilidad parece estar totalmente desvinculado del proceso de urbanización, pues a pesar de que la mayor parte de la población utiliza el transporte colectivo y solo una minoría está motorizada, la forma urbana no está cerca de parecerse a una ciudad estructurada con base en transporte colectivo.

1.2.1 Insostenibilidad global en el sector transporte

Lizágarra (2006), señala que la configuración global del sector transporte es la responsable en gran medida de los problemas de sostenibilidad ambiental y energética, y esto en parte explica la insostenible movilidad urbana. Los sistemas de transporte requieren el consumo de una elevada cantidad de recursos naturales como combustibles fósiles no renovables, hormigón y acero para construir autopistas, y de metales ferrosos y no ferrosos para la fabricación de vehículos. Las proyecciones internacionales sobre el uso de combustible en el sector transporte indican un aumento del 250% en el consumo de combustibles fósiles no renovables entre 2000 y 2050. Este aumento refleja el crecimiento dominante del transporte motorizado privado y, como resultado, una mayor dependencia del petróleo.

Además, esta insostenibilidad en el sector transporte se ve también explicada en la ocupación del terreno y en la transformación de los ecosistemas al momento del trazado de las carreteras y autopistas. Forman y Alexander (1998) confirman que entre los efectos adversos más preocupantes que trae consigo la construcción de carreteras al ambiente se encuentra la fragmentación del hábitat y el atropellamiento de la fauna.

Como también indica Lizárraga (2006, p. 297), el sector de transporte es una fuente creciente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se espera que entre 2000 y 2050,

se dé un incremento de las emisiones de CO₂ superior a 80% a escala internacional, con gran responsabilidad del sector transporte, cuya emisión de CO₂ aumentará 128%. Para los países en desarrollo se estima que ese incremento sea mayor a 290%. Todo esto se haría realidad si es que el transporte motorizado continúa en aumento.

Es así como el transporte urbano es responsable de la emisión de 90% del plomo, de la mayor parte de las emisiones de CO, y de una contribución significativa a la formación del ozono a nivel de superficie. Estas últimas son las más perjudiciales para la población por estar más expuesta, independientemente de las toneladas emitidas (Lizárraga, 2006, p. 299).

1.2.2 Movilidad urbana sostenible

La movilidad sostenible se define según el *World Bussiness Council for Sustainable Development* (2001) como “la capacidad para satisfacer las necesidades de la sociedad de moverse libremente, acceder, comunicarse, comercializar y establecer relaciones sin sacrificar otros valores humanos o ecológicos básicos actuales o del futuro”. Asimismo, Lizárraga (2006, p. 305) describe la movilidad urbana sostenible como un sistema de transporte que brinda los medios y oportunidades para cubrir las necesidades económicas, ambientales y sociales, de manera eficiente y equitativa, evitando impactos negativos innecesarios y costos adicionales.

La movilidad urbana sostenible, lejos de centrarse en el transporte motorizado y segregar las personas y el tráfico, considera una jerarquía en la que los peatones y bici usuarios se encuentran en la parte superior y los usuarios motorizados en la parte inferior, viendo la calle como un espacio e integrando a las personas y el tráfico (Quintero, 2017). Esta jerarquía se puede observar en la Figura 1.

Figura 1

Pirámide de sostenibilidad urbana



Nota. Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (s.f.)

Vivier y Mezghani (2001), proporcionan un conjunto de argumentos a favor de la movilidad sostenible, resaltando que esta debe basarse en un uso del suelo que satisfaga las necesidades de movilidad, en la reducción de los vehículos privados y en la promoción de un sistema transporte público que sea eficaz. Además, deja en evidencia que la prisa por invertir en carreteras y vías urbanas no proporciona ninguna respuesta sostenible al problema que es la creciente necesidad de movilidad urbana; antes de continuar invirtiendo en más capacidad para el transporte, es primordial optimizar el uso de las vías ya existentes. Lamentablemente, en las ciudades en desarrollo, la insuficiencia del transporte público y la ausencia de restricciones con respecto a los automóviles, favorecen la propiedad de automóviles.

Es por ello que, en aquellas ciudades en donde el uso del vehículo privado es limitado, exigiéndose el cumplimiento de normas ambientales estrictas y con un buen sistema de transporte público, Lizárraga (2006, p. 299) señala que los efectos negativos en la calidad del aire debido al tráfico son menores; ejemplo de ellos son las ciudades suizas de Ámsterdam, Copenhague y Hamburgo. Confirmando esto, Jans (2009, p.9) menciona que las ciudades antiguas europeas de Suecia, Holanda y Alemania, las cuales han seguido los patrones de movilidad urbana sostenible, tienen una mejor calidad de vida, cuidado del medio ambiente y crecimiento económico, convirtiéndose en una sociedad que tiene más oportunidades dentro de su ciudad en términos de recreación y trabajo.

Actualmente numerosas ciudades y áreas urbanas alrededor del mundo están ejecutando planes de movilidad local obligatorios, los cuales tienen objetivos específicos como por ejemplo reducir la movilidad motorizada, empleando para ello instrumentos legales, de diseño, transporte público y redes ciclistas (Torres, 2014).

1.3 Transporte público

De acuerdo con Dextre, et al. (2014), la mayoría de las soluciones brindadas para poder contrarrestar la congestión vehicular en las zonas urbanas se encuentran dirigidas a incrementar la infraestructura vial ya existente, la cual está en su mayoría pensada en el beneficio del vehículo particular; sin embargo, en las consecuencias de las mismas se puede evidenciar que son soluciones que mitigan el problema a corto plazo, mas no son viables con el paso del tiempo.

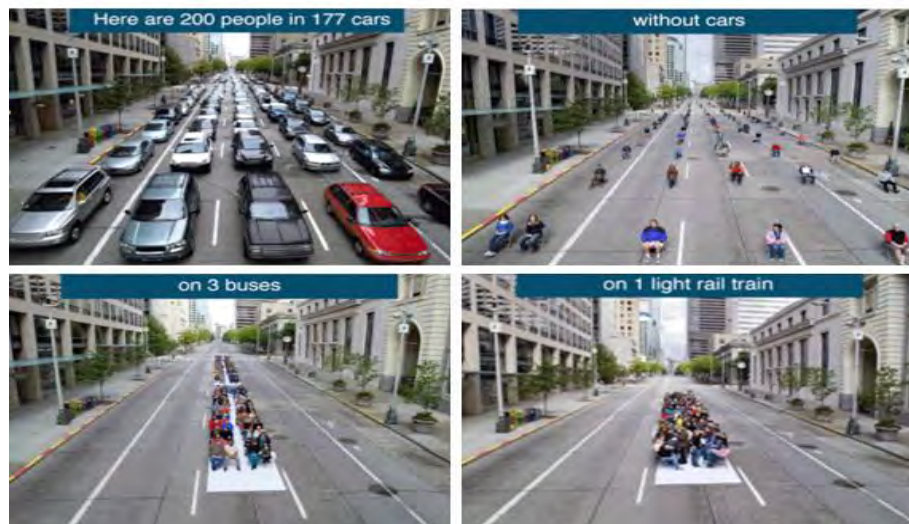
El *Texas Transportation Institute* (2011), realizó un estudio a 68 áreas urbanizadas de Estados Unidos, las cuales durante el periodo de años de 1982 a 1999 aumentaron en 11% su población y 15% los kilómetros de vías urbanas, el resultado fue inaudito. La cantidad de horas de congestión creció un 50% y los tiempos de viaje en 7%.

En el año 2015 la consultoría de desarrollo sostenible *International Sustainable Solutions* evidenció con la Figura 2, que el espacio que ocupan 200 personas en 177 vehículos particulares son cinco carriles enteros de una avenida principal, y que el espacio que ocuparían la misma cantidad de personas dentro de tres buses sería tan solo un solo carril. Además, se

evidencia que estas mismas personas dentro de un vagón de metro aprovecharían incluso mucho mejor el espacio.

Figura 2

Comparación de espacio ocupado por 200 personas en automóviles, bus y tren



Nota. International Sustainable Solutions (2015)

Actualmente, el concepto de movilidad urbana ha cambiado en algunas ciudades. Con el tiempo, ha sido notorio que la importancia del desplazamiento de las personas no radica en la cantidad de vehículos que transiten en una determinar vía, sino, en la cantidad de personas que son capaces de transportarse. Es por ello por lo que se le ha dado una mayor importancia al transporte público, ya sea el caso de trenes, tranvías, metros o buses, debido a que estos vehículos son capaces de trasladar a un mayor número de personas ocupando menos espacio en la vía y de producir una cifra menor de contaminación ambiental.

Cal y Mayor (2018) señala que el transporte público es un indicador importante de la calidad de vida de las personas en la ciudad, ya que tiene consecuencias directas en el desarrollo económico y social de la misma. Miralles-Guasch (2002) señala que, este tipo de transporte es un elemento indispensable dentro del desarrollo de una ciudad, ya que es un medio por el cual una gran masa de personas se moviliza hacia sus trabajos, centros estudiantiles, de recreación, salud, entre otros.

Su importancia se fundamenta por los siguientes motivos:

- Uso ecuánime del suelo urbano y del espacio público.
- Disminuye la contaminación ambiental.
- Accesibilidad para toda la población
- Reduce la inversión en infraestructura vial de alto costo.

1.3.1 Transporte masivo en autobuses

Estados Unidos y Bélgica fueron los primeros países en implementar carriles exclusivos para buses en el mundo. En Sudamérica, el primer sistema de carril exclusivo para buses fue puesto en marcha en 1972 en Lima, Perú, y en Sao Pablo, Brasil (Cal y mayor, 2018). En la Figura 3, se observa el primer carril exclusivo para buses con ómnibus articulado en la vía expresa en los años 70.

Figura 3

Carril exclusivo para buses con ómnibus articulado en la vía expresa años 70



Nota: Adaptado de Gestión (2021)

Cal y Mayor indica que Curitiba (Paraná, Brasil), fue la primera ciudad que propuso un sistema integrado de transporte usando carriles exclusivos para buses en vías segregadas en el año 1974. En base al exitoso caso de esta ciudad se pueden determinar los principales pilares que deben contar los sistemas integrados de transporte (SIT), los cuales son: carriles exclusivos, buses articulados o biarticulados, estaciones de servicio, entre otros.

La experiencia de Curitiba se extendió a otros países en Sudamérica, siendo replicado en Quito (Ecuador), que para 1995 implementó un primer corredor de 11.2 km y dos terminales, operado con trolebuses.

En el año 2002 el sistema Transmilenio de Bogotá, Colombia, bajo una transformación integral de sus corredores y mediante un sistema de doble carril por sentido y paraderos clasificados para rutas expresas y ordinarias, logró el éxito del proyecto denominado *Bus Rapid Transit* (BTR). Actualmente, en el mundo operan cerca de 80 sistemas BTR (Cal y mayor, 2018).

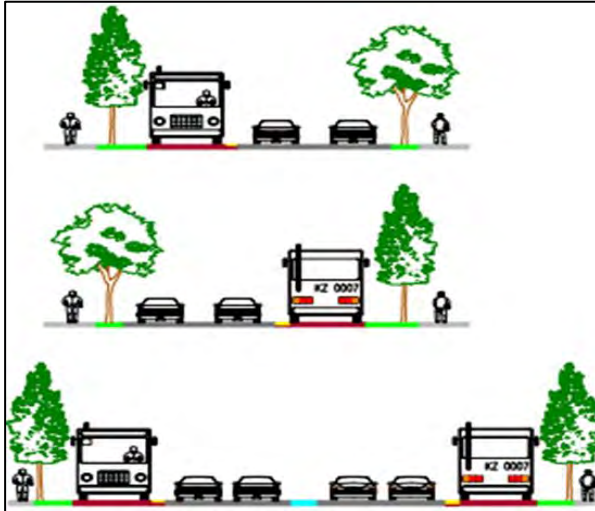
1.3.2 Carril bus

Se le denomina carril bus a aquella sección de la vía destinada exclusivamente para el uso de transporte público. Es una innovadora solución que se viene implementando en grandes y pequeñas ciudades alrededor del mundo ya que, incrementa la rapidez a los servicios de transporte público por bus. En pocas palabras, es un carril que permite que los buses de transporte público puedan transitar más rápidamente que el tráfico que existe en la

misma vía (Javier, 2014). Como se observa en la Figura 4, la implementación de un carril bus puede darse en un solo sentido de la vía al lado derecho o en ambos sentidos de la vía.

Figura 4

Tres modos de carril solo bus



Nota: Ministerio de Planificación y Cooperación (1998)

Por lo general son señalizados por una demarcación en la calzada, y son característicos por su bajo costo de implementación, y su rendimiento depende del cumplimiento de las normas de tránsito brindadas para su óptimo funcionamiento, por lo que es necesario invertir a la vez en sistemas de vigilancia y sanciones (Bull, et al., 2003).

Existen casos de carril bus que comparten este carril con otros vehículos menores, como con taxis y motocicletas, sin embargo, esto origina que el tráfico sea más denso por la vía segregada. Para algunos casos, se ha permitido que solo taxis que lleven pasajeros puedan transitar por estos carriles y las motos quedan totalmente excluidas (Javier, 2014).

Cuando en áreas metropolitanas se cuentan con vías reservadas para buses de transporte público, este puede competir contra el vehículo privado ya que los tiempos de viaje en periodos de hora punta son muchos menores, además que este sistema al ser mucho más ordenado y moderno permite una mejora en los niveles de servicio, mayor seguridad y confort.

A continuación, se detallarán las ventajas más importantes del uso del carril solo bus (Sartori, et al., 2016):

- Reducción de congestión vehicular durante horas de gran congestión debido a la disminución del uso de vehículos particulares.
- Mejora de condiciones de servicio de los autobuses y mayor accesibilidad a este.
- Disminución de tiempo de esta por los usuarios en los paraderos de servicio.
- Menor contaminación ambiental ocasionada por la gran demanda de vehículos.

En Colombia, la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM) y TRANSMILENIO S.A. (2021) de Bogotá, señalan que, en la actualidad, en Bogotá existen ocho carriles exclusivos para buses, las cuales suman un total 138,8 km y benefician a más de 1,5 millones de pasajeros, brindando ahorros de tiempo de viaje de hasta 12 minutos. El carril bus de Bogotá más extenso se ubica en la avenida Boyacá, con 41,4 km y el de menor extensión en la calle 72 con 1,7 km.

En Chile, la Secretaría de Transportes de Chile (2022) indica que, los carriles solo bus se ubican al lado derecho de la vía y cuentan con fiscalización por medio de cámaras para así controlar su funcionamiento o sancionar en caso no se cumplan las normas. En el carril segregado de la Alameda Bernardo en Santiago, los tiempos de recorrido disminuyeron en promedio 36% gracias a la implementación de tres carriles segregados en una vía de cinco carriles por sentido. Además, los tiempos de viaje de los vehículos particulares también disminuyeron 5.5 minutos (Bull, et al., 2003).

La ciudad de Piura no cuenta con carriles bus actualmente, por lo que la implementación y efectividad de la operación de los carriles bus en otros países incentiva a considerar alternativas sostenibles en la ciudad, como por ejemplo la implementación de un carril por sentido para el transporte público para mejorar los tiempos de viaje de los buses. Por otro lado, en el Plan maestro de movilidad urbana sostenible (Martínez et al., 2019) para la ciudad de Piura, se ha contemplado la propuesta de un sistema masivo tipo *Bus with High Level of Service* (BHLS), el cual es un autobús de alto nivel de servicio que busca mejorar la experiencia del usuario, de ser el caso de en un futuro implementarse se deberá contar con la ayuda de inspectores municipales de transporte para la correcta fiscalización de los vehículos que circulen de manera informal.

1.4 Conceptos de capacidad vial y niveles de servicio

1.4.1 Capacidad Vial

La capacidad vial se define como el flujo máximo horario al que se puede esperar razonablemente que vehículos o peatones puedan pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un periodo de tiempo establecido, bajo las condiciones prevalecientes de la vía, tránsito y dispositivos de control (*Highway Capacity Manual*, 2010).

Cerquera (2007) añade que por capacidad se refiere a una tasa de flujo vehicular o de personas en un periodo de tiempo que suele ser el periodo de 15 minutos pico, es por ello que la capacidad no se refiere al máximo volumen al que puede darse servicio durante una hora.

1.4.2 Niveles de servicio

El nivel de servicio es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular y de su percepción por los conductores y/o pasajeros. Existen factores que afectan el nivel de servicio, siendo estos internos y externos. Los factores internos son los que corresponden a las variaciones en la velocidad, en el volumen, composición del tránsito, entre otros; por otro lado, entre los factores externos se encuentran las características físicas

como el ancho de los carriles, la distancia libre lateral, el ancho de los acotamientos, las pendientes, etc (Chávez, 2005).

Según el *Highway Capacity Manual* (2010), se han establecido seis niveles de servicio que van desde el A hasta el F. El nivel de servicio A representa las mejores condiciones de funcionamiento desde la perspectiva del pasajero, y el nivel F es el peor. Ver Figura 5.

Figura 5

Niveles de Servicio



Nota: Manual VCHI de Diseño Geométrico de Vías Urbanas (2005)

En la Tabla 1, se indican los niveles de servicio para las intersecciones semafóricas según el *Highway Capacity Manual*.

Tabla 1

Detalle de los niveles de servicio para intersecciones semafóricas

Nivel de Servicio	Demora por control (s/veh)
A	≤ 10
B	$> 10 - 20$
C	$> 20 - 35$
D	$> 35 - 55$
E	$> 55 - 80$
F	> 80

Nota: Highway Capacity Manual (2010)

1.5 Aforo y conteo vehicular

La realización de un estudio de conteo vehicular, según Monetti et al. (2018), tiene como objetivo determinar tanto los volúmenes de tránsito como los tipos de vehículos que circulan en un punto, intersección o sección de la vía. Para realizar este procedimiento existen distintos tipos de modalidades en base a los objetivos que se requieran, dependerá del grado de exactitud que se requieran, el tipo de datos por documentar y de las limitaciones humanas y económicas que se tengan para el estudio. Así, además de cuantificar el tránsito, se puede obtener información detallada como la clasificación vehicular, los movimientos direccionales en intersecciones y/o entradas.

1.5.1 Métodos de aforo

1.5.1.1 Método manual. Se realiza por el personal de campo, llamados aforadores de tránsito (Coronado, 1991).

1.5.1.2 Aforo mecánico. Debido a las limitaciones humanas para la realización de conteos vehiculares se ha innovado en diferentes métodos mecánicos, los cuales consisten en la recolección de datos durante varias horas a través de un equipo automático especializado. Por lo general, se utilizan sensores magnéticos o neumáticos. Después de esto, la información se descarga fácilmente a una computadora para procesarla y almacenarla (Barrón et al., 2020).

1.5.2 Metodología para realizar conteos vehiculares

Según Coronado (1991), para realizar un correcto estudio de tráfico se necesita:

- Establecer las estaciones de control y sus ubicaciones
- Definir el tipo de estación
- Periodo de tiempo de los aforos
- Personal aforador
- Materiales y equipos a utilizar
- Solicitar permiso a autoridades para apoyo y vigilancia

1.6 Volúmenes de tránsito

Cal y Mayor (2018) indica que el volumen de tránsito es el número de vehículos que transitan por una sección transversal o punto dado, de una calzada o de un carril, durante un período determinado de tiempo. Se expresa según la Ecuación 1:

$$Q = N / t \quad [1]$$

Donde:

- Q = vehículos que transitan por unidad de tiempo (vehículos/periodo)

- N = número total de vehículos que transitan (vehículos)
- t = periodo determinado de tiempo (unidades de tiempo)

1.6.1 Campos de uso de volúmenes de tránsito

Los volúmenes de tránsito tienen múltiples aplicaciones en la ingeniería civil, según Cal y Mayor (2018), las cuales se pueden dividir en cuatro campos principales: planeación, proyecto, ingeniería de tránsito e investigación. Estos campos, abarcan desde la estimación de cambios anuales en volúmenes de tránsito hasta la investigación de dispositivos para el cumplimiento de normas viales. Sin embargo, para esta investigación, el campo de principal interés es la ingeniería de tránsito, donde se utilizan para caracterizar flujos vehiculares, analizar la capacidad vial y niveles de servicio, y estudiar la ubicación estratégica de estacionamientos y dispositivos de control de tránsito, entre otros.

1.7 Longitud de colas

La formación de colas se genera cuando la capacidad de una intersección es superada por la demanda de vehículos. Es un indicador del funcionamiento de una determinada vía; la existencia de colas se asocia a congestión vehicular (TRB, 2000). Esta es una variable que indica longitud de cola que forman los vehículos en intersecciones con semáforos, entrada a alguna autopista, cuello de botella, un carril con alguna característica especial, etc. Se deberá tener en cuenta en análisis y simulaciones de tránsito con el fin de proponer soluciones que ayuden a mejorar la longitud de las mismas y a la vez, mejorar la fluidez del tránsito vehicular (Fernández y Dextre, 2011).

1.8 Tiempos de viaje

Es el tiempo que demora un vehículo en movilizarse de un punto determinado a otro. Para el cálculo de esta variable se hacen mediciones desde el momento que el vehículo entra al tramo de estudio hasta el momento que sale de este, además ya se encuentran incluidas todas aquellas posibles demoras por reducciones de velocidad, paradas por problemas mecánicos, dispositivos de control de tránsito, entre otras. Por otro lado, no se toman en cuenta las demoras ocurridas en el exterior de la vía, como, por ejemplo, paradas para el abastecimiento de combustible, recreación, etc. Esta variable permite principalmente comparar las distintas condiciones de fluidez en determinadas rutas. Existen casos donde se comparan dos rutas distintas o una ruta incluyendo proyecto de mejora con la misma ruta sin el proyecto de mejora (Cal y Mayor, 2018).

1.9 Dispositivos de control de tráfico

Son elementos ópticos o acústicos utilizados para la regulación del uso de la vía por parte de los vehículos y peatones. En Perú, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) es quien elabora el Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, el cual lleva a cabo un proceso de evaluación en el caso se requiera la

incorporación de nuevos dispositivos al manual mencionado. Según el MTC (2016), para que un dispositivo de control de tránsito sea efectivo, tiene que cumplir con llamar positivamente la atención y ser visible, encerrar un mensaje claro y conciso, además de que su localización permita al usuario un tiempo adecuado de reacción y respuesta.

En este manual del MTC se describen los siguientes dispositivos de control de tránsito:

1.9.1 Señales verticales

Se definen como dispositivos que han sido instalados al costado o sobre el camino con la finalidad de reglamentar el tránsito, prevenir e informar a los usuarios a través de palabras o símbolos. El uso excesivo de estas señales en un tramo corto debe evitarse debido a que puede ocasionar contaminación visual y se perdería efectividad. Estas son de carácter permanente, pudiéndose usar también en situaciones temporales referidas a las que modifican transitoriamente la utilización u operación de la vía.

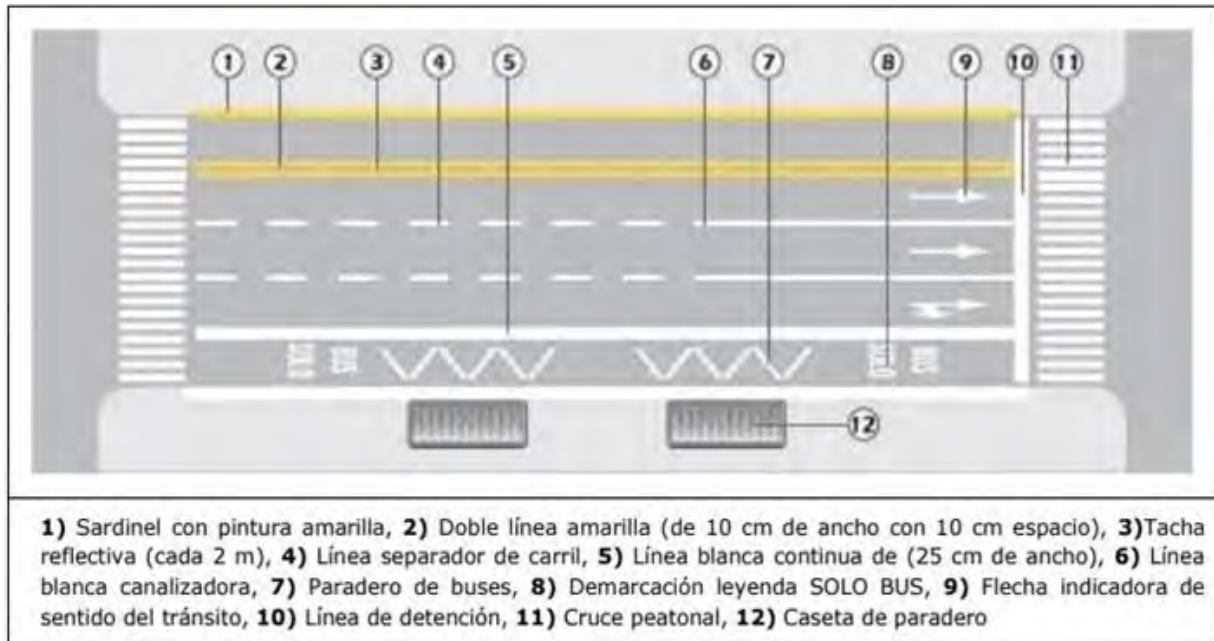
Las señales verticales se clasifican en tres grupos según la función que desempeñan:

- Señales reguladoras o de reglamentación: Tienen como objetivo notificar las prioridades, prohibiciones, restricciones, obligaciones y autorizaciones que existen para el uso de la vía. Si estas se incumplen, puede acarrear un delito.
- Señales de prevención: Su finalidad es advertir a los usuarios acerca de la existencia de riesgos o situaciones imprevistas en la vía o zonas adyacentes, de forma temporal o permanente. Estas señales ayudan a que los conductores tomen las precauciones necesarias reduciendo la velocidad o realizando maniobras para la seguridad propia y de los peatones.
- Señales de información: Su propósito es brindar información a los usuarios para que lleguen a sus destinos de la manera más simple y directa posible, además de proporcionar información relativa a distancias a centros poblados y de servicios, nombres de las calles, kilometrajes de rutas, entre otros.

1.9.2 Señalización horizontal

Está constituida por marcas planas en el pavimento como líneas horizontales y transversales, flechas, símbolos y letras adheridas a la estructura de la vía. Estas demarcaciones complementan los demás dispositivos de control de tránsito como las señales verticales y semáforos.

Las marcas planas en el pavimento se emplean para delimitar carriles y calzadas, para indicar las zonas donde está prohibido adelantar o cambiar de carril, los lugares en donde está prohibido estacionar y además para delimitar los carriles de uso exclusivo para las bicicletas, buses, entre otros.

Figura 6*Ejemplo de demarcación de paraderos de buses*

Nota: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2018)

1.9.3 Semáforos

Los semáforos tienen como finalidad regular y controlar el tránsito vehicular y peatonal, a través de las luces de color rojo, verde y ámbar. El color rojo indica la prohibición del tránsito de los vehículos o peatones por un tiempo establecido, el color verde indica que el tránsito vehicular o peatonal puede circular, y el color ámbar o amarillo dispone al conductor ceder el paso y detener el vehículo, sin ingresar al cruce o intersección vial.

Existen diferentes tipos de semáforos, clasificándose en semáforos para vehículos, para peatones y semáforos especiales. Las entidades correspondientes responsables del tránsito vehicular, debe encargarse de los estudios para determinar el tipo de semaforización a implementar en una vía, en función a su importancia y al volumen del tránsito vehicular.

1.10 Volumen de tráfico a futuro

Para realizar una correcta pronosticación del volumen que tendrá el tránsito a futuro se debe tener en cuenta no solo los volúmenes existentes en la actualidad, sino también el incremento del tránsito esperado con la mejora o construcción de una vía (Cal y Mayor, 2018).

Según el Instituto Nacional de Vías de Colombia en su Manual de Diseño Geométrico para carreteras, señala que el concepto de proyección de tránsito a futuro se aplica principalmente en dos tipos de proyectos:

- Proyectos de construcción: Se puede dar el caso de la construcción de una nueva vía al 100% o en un tramo faltante mayor del 30% de una vía ya existente.

- **Proyectos de mejoramiento:** Son aquellos proyectos en los cuales se construyan tramos faltantes de una vía ya existente, siendo estos menores que el 30% del total. También son los proyectos donde se deberán realizar cambios en las dimensiones y especificaciones de una vía ya existente.

1.10.1 Componentes del volumen del tránsito futuro

Según Cárdenas (2007), para el cálculo de tránsito futuro (TF) es necesario conocer también el tránsito actual (TA) y el incremento del tránsito (IT) que se espera al fin del tiempo de vida del proyecto. En base a esto se puede deducir la Ecuación 2:

$$TF = TA + IT \quad [2]$$

Asimismo, Cárdenas (2007) define los términos que explican la expresión anterior:

1.10.1.1 Tránsito Actual (TA). Es el volumen de tránsito que tendrá la nueva carretera o la mejora de la misma cuando esté en servicio. Para el caso de la construcción de una nueva vía, el tránsito actual es únicamente el tránsito atraído (TAt). Por otro lado, en proyectos de mejoramiento de una vía, el tránsito actual es el tránsito existente (TE) previo a la mejora más el tránsito atraído (TAt) de vías alternas. El tránsito actual (TA) se puede determinar mediante aforos vehiculares. Por lo tanto, el Tránsito actual (TA) se puede expresar como la Ecuación 3:

$$TA = TE + TAt \quad [3]$$

1.10.1.2 Tránsito atraído (TAt). El tránsito atraído depende del volumen y la capacidad de la vía existente. Aquellos usuarios que forman parte del tránsito atraído no cambian su modo de viaje, ni origen, ni destino; sino la eligen debido a las mejoras de las características geométricas, la reducción de distancia, y por la seguridad y confort.

1.10.1.3 Incremento del tránsito (IT). Es aquel volumen de la nueva carretera que se tendrá en el año futuro seleccionado. Está determinado por el crecimiento normal del tránsito (CNT), del tránsito generado (TG) y del tránsito desarrollado (TD). Ver Ecuación 4.

$$IT = CNT + TG + TD \quad [4]$$

1.10.1.4 Crecimiento normal del tránsito (CNT). Es el aumento de volumen de tránsito causado por el incremento normal en el uso de vehículos. Es un componente que se encuentra en constante aumento debido a la intención de las personas de movilizarse y la producción de vehículos fabricados cada año.

1.10.1.5 Tránsito generado (TG). Son aquellos viajes en vehículos (excepto transporte público) que no se realizarían en caso no se construyera la nueva vía. Para el estudio de este tipo de tránsito, se toman valores entre el 5% y el 25% del tránsito actual (TA) y tiene un periodo de duración de uno o dos años después de que la vía se pone en funcionamiento.

1.10.1.6 Tránsito desarrollado (TD). Es aquel incremento del volumen de tránsito causado principalmente por las mejoras del suelo contiguo a la vía. El tránsito desarrollado tiene vigencia por muchos años posteriores desde que entra en funcionamiento la nueva vía. Se puede determinar como la Ecuación 5 y Ecuación 6:

$$TF = TA + IT \quad [5]$$

$$TF = (TE + TAt) + (CNT + TG + TD) \quad [6]$$

1.11 Tipos de modelación de tráfico

La modelación se realiza en programas numéricos, los cuales facilitan el estudio de las variables por las que las intersecciones o los tramos de vía a estudiar están compuestas; de esta forma se simula el comportamiento de las redes viales bajo condiciones reales como tiempo y espacio, con las que se puede modificar alguna de las variables para así llegar a una posible solución ante la problemática de movilidad (Cáceres et. al, 2016).

1.11.1 Modelos macroscópicos

En general, este tipo de modelos es apropiado para aplicaciones de gran escala en donde las variables principales están relacionadas con las características del flujo (Robles et. al, 2009). La finalidad la modelación macroscópica es analizar un sistema de comportamiento de tráfico de forma global, sin entrar en un análisis detallado. Están enfocados en captar las relaciones que existen entre la velocidad de los vehículos, el flujo y la densidad de tráfico, siendo modelos continuos y que utilizan ecuaciones diferenciales (Mayorano et. al, 2008).

1.11.2 Modelos mesoscópicos

Presentan una aproximación intermedia entre los modelos microscópicos y los macroscópicos pues se mezclan conceptos y herramientas de ambos al analizar el comportamiento de grupos de conductores (Robles et. al, 2009). En la modelación mesoscópica se utilizan modelos matemáticos con más especificaciones que las consideradas en la simulación macroscópica, pero sin detallar la interacción entre los elementos del modelo, estudiando principalmente el comportamiento de los flujos y corrientes vehiculares (Montenegro y Lozano, 2013).

1.11.3 Modelos microscópicos

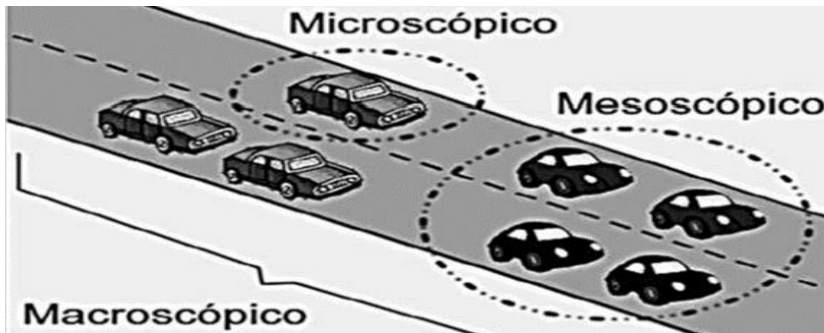
Los modelos microscópicos de simulación de tránsito o micro simuladores de tráfico son actualmente la herramienta más avanzada para representar la circulación vehicular en una red de transporte (Fernández y Dextre, 2006). En este tipo de modelación, se da la interacción directa entre los elementos que la componen, contemplando el movimiento y las características operativas específicas de cada unidad individual (Montenegro y Lozano, 2013).

Fernández y Dextre (2006) mencionan que, en la actualidad, cada grupo de investigación de tráfico alrededor del mundo ha desarrollado o adaptado su propio software,

en los cuales los vehículos de transporte público se han incorporado de forma complementaria para que sea más realista la interacción entre automóviles y buses al compartir la vía. Así mismo, se recalca que los pasajeros del transporte público no tienen identidad propia, por lo que no se les podría considerar parte de la evaluación de un proyecto a estudiar con micro simulación. En la Figura 7 se observa la diferencia entre los tipos de simulación mencionados.

Figura 7

Diferencia entre el tipo de modelación macroscópica, mesoscópica y microscópica



Nota: Micro simulación del tráfico en intersecciones PUCP (2016)

1.12 Microsimulación en Vissim

1.12.1 Vissim

PTV Vissim es el software de simulación de tráfico más completo y avanzado a nivel mundial. Es un programa que se utiliza para simulaciones microscópicas, basado en modelos de comportamiento vehicular; este permite representar la operación del tráfico urbano, en el que se incluye toda clase de vehículos como autos particulares, transporte público, vehículos pesados, bicicletas, peatones, entre otros (PTV Group, 2015). Además, Vissim permite analizar la operación de tráfico bajo condiciones muy específicas como el uso especial de carriles, programación de señales de tránsito, etc; logrando que esta sea una herramienta muy útil al momento de evaluar alternativas de ingeniería y planeación de transporte.

1.12.2 Construcción de un modelo Vissim

Según PTV Group (2015), un modelo de microsimulación de Vissim está integrado por:

- Red Vial: Representa la infraestructura física
- Elementos de control: Reglas que resuelven los conflictos vehiculares de la red.
- Demanda vehicular: Flujos vehiculares en volumen, movimientos y comportamiento.
- Productos: Indicadores y visualizaciones generadas al momento de correr los modelos.

1.12.3 Modelo de seguimiento vehicular Wiedemann 1974

El modelo de Wiedemann 1974 define el movimiento del conductor en función de la percepción del movimiento relativo del vehículo de adelante, estableciendo que el impulso

físico para el conductor es el tamaño al que visualiza el vehículo delantero. La percepción del cambio depende de que tan rápido cambie la imagen del vehículo delantero, lo cual considera una función de la diferencia de velocidades y la distancia. Wiedemann 1974 determina también que estos cambios solo se perciben si exceden ciertos umbrales límite (Casares, 2015).

La percepción humana y las reacciones son representadas por un set de distancias deseadas y un set de umbrales que delimitan diferentes situaciones de interacción entre el vehículo en estudio y el vehículo de adelante. Estas situaciones son las siguientes:

- Conducción sin influencia: El vehículo no está influido por ningún vehículo delantero.
- Acercamiento: El vehículo está conscientemente influido por el vehículo de adelante, dado que el conductor percibe un vehículo más lento.
- Seguimiento: El vehículo está en un proceso de seguimiento, siendo influenciado por el vehículo de adelante en forma no consciente.
- Frenado de emergencia. El vehículo queda a una distancia de separación menor a la deseada y debe frenar para evitar la colisión.

1.12.4 Formas de calibración para una microsimulación

Arias y Huayaney (2021) mencionan que este es un proceso que tiene por finalidad asegurar que el modelo realizado en la microsimulación refleje correctamente la situación real mediante un proceso iterativo de ajustes de los parámetros. Se lleva a cabo mediante una comparación entre parámetros que se obtienen del software y los datos reales obtenidos en campo. Entre los parámetros más importantes para calibrar se tiene:

- Calibración de longitud de colas
- Calibración de velocidades
- Calibración de volúmenes
- Calibración de tiempo de viaje

1.12.5 Número semilla

El número semilla es un número inicial elegido aleatoriamente que se utiliza para determinar las características que podrían presentar los conductores durante una microsimulación. Cada semilla representa una forma diferente de generar la distribución de los vehículos y determina el momento en el que entra a la red cada vehículo, seleccionar su destino, su ruta y un determinado comportamiento del conductor durante el movimiento en la red (Federal Highway Administration, 2004). Si para la simulación se usa la misma semilla, el resultado sería siempre idéntico, por lo que cada vez que el número de semilla se modifique, se generarán distintos patrones de comportamientos en el modelo, obteniendo resultados variados. Es por ello que en una microsimulación se utilizan diferentes números semilla, esto con el fin de dar aleatoriedad al proceso y tener resultados semejantes a la realidad.

1.12.6 Número de corridas

Cada evaluación realizada en la microsimulación dependerá del número de semilla utilizado en el modelo. Los resultados reales están situados en un rango promedio de cada una de las corridas realizadas. El proceso de análisis propuesto por la *Federal Highway Administration* (FHWA) (2019) para calcular el número mínimo de corridas es el siguiente:

Como primer paso, se requiere la desviación estándar. Para esto se ejecutan algunas repeticiones con un número de corridas inicial a criterio del analista y se utiliza la Ecuación 7 para la estimación de la desviación estándar.

$$S^2 = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N - 1} \quad [7]$$

Donde:

- S: desviación estándar
- X: respuesta del parámetro de eficiencia en una corrida específica
- $\bar{X}$: media del parámetro en todas las corridas
- N: número de corridas

Luego, se decide hasta qué punto se desea conocer el intervalo en el que se encuentra el verdadero valor medio. Es habitual elegir un nivel de confianza del 95%; sin embargo, se puede elegir niveles de confianza más altos o bajos. Posterior a la elección del nivel de confianza, se busca conocer el intervalo de confianza con la Ecuación 8, el cual representa el rango de valores dentro del cual puede encontrarse el valor medio verdadero.

$$CI_{(1-\alpha\%)} = 2 * t_{(\alpha/2), N-1} * \frac{S}{\sqrt{N}} \quad [8]$$

Donde:

- CI: intervalo de confianza
- $t_{(\alpha/2), N-1}$: t-student con N-1 grados de libertad
- N: número de corridas
- S: desviación estándar

La Tabla 2 muestra las soluciones a la ecuación anterior en términos del número mínimo de repeticiones para varios intervalos de confianza y grados de confianza deseados.

Tabla 2

Número mínimo de repeticiones necesarias para obtener el intervalo de confianza deseado

Rango deseado (CI/S)	Confianza deseada	Repeticiones mínimas
0.5	99%	130
0.5	95%	83
0.5	90%	64
1	99%	36
1	95%	23
1	90%	18
1.5	99%	18
1.5	95%	12
1.5	90%	9
2.0	99%	12
2.0	95%	8
2.0	90%	6

Nota: Federal Highway Administration (2019)

1.12.7 Warm up

Es el tiempo en el que el flujo de tráfico simulado logra un equilibrio. Al inicio, el modelo de microsimulación no representa la realidad debido a que empieza con cero vehículos en el sistema, esto va en aumento hasta estabilizarse. El *Warm up* se considera un periodo en el que los datos obtenidos no deben ser considerados como el resultado. Una vez en equilibrio, se inicia la recolección de la información estadística del modelo para luego analizar los resultados de los parámetros de eficiencia como el volumen vehicular, la longitud de colas, etc. (Dowling, 2004). Estudios de la FHWA (2004), recomiendan un *Warm up* de 10 minutos como mínimo.

1.12.8 Calibración

Zúñiga (2010) define la calibración como el proceso de modificar y cambiar los valores de los parámetros de un modelo para ajustar los resultados de la simulación a la información observada realmente. El objetivo de la calibración es mejorar la capacidad del modelo para reproducir el comportamiento del conductor y el rendimiento de los indicadores como el tiempo de viajes, demoras y longitudes de cola, variando los parámetros por defecto.

Según Wood (2012), el determinante clave de una calibración exitosa de un modelo microsimulación, es tener los datos observados para respaldarlo, los cuales serán esenciales para brindar una representación precisa del comportamiento del vehículo y, por lo tanto, para calibrar el modelo con condiciones locales. En una calibración de un modelo por volúmenes,

la cual será la utilizada en el presente estudio, la medida útil de bondad de ajuste utilizada para comparar los flujos del modelo con lo observado es el GEH (Geoffrey E. Havers)

1.12.8.1 Indicador de calibración GEH. La estadística GEH es una fórmula utilizada en ingeniería de tráfico, modelación de transporte y modelación de tráfico, para comparar dos grupos de volúmenes de tránsito vehicular, siendo una forma modificada de un modelo Chi-cuadrado, diseñada para tolerar errores más grandes en flujos bajos (*Transport Roads & Maritime Services*, 2013, p. 83). Recibe este nombre por Geoffrey E. Havers, quien la inventó en la década de 1970 cuando trabajaba como planificador de transporte.

Jiménez y Sarmiento (2011) indican que, para la calibración del modelo, se debe realizar una comparación entre los volúmenes contados y modelados. Se usa el parámetro GEH para demostrar que los flujos de tránsito en el modelo coinciden con los recuentos de tráfico reales con un nivel aceptable de precisión, siendo esta la Ecuación 10 (Smith & Blewwitt, 2010, p. 147):

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}} \quad [9]$$

Donde:

- GEH: Indicador estadístico
- M: Volumen estimado en el modelo
- C: Volumen medido en campo

Así mismo, se recomienda que, se debe aspirar a un GEH inferior a cinco para modelos no muy extensos. En la Tabla 3 se muestran los criterios de validación GEH.

Tabla 3

Criterios de validación GEH

GEH	
0 a 5	Adecuada correspondencia entre vehículos observados y simulados
5 a 10	Ajuste moderado
>10	Alta probabilidad de tener problemas en el punto de toma de información

Nota: Efficient Transportation and Pavement Systems, Characterization, Mechanisms, Simulation and Modeling (2009)

Capítulo 2

Diagnóstico de la situación actual de la Avenida Grau

2.1 Antecedentes del transporte público a nivel nacional e internacional

Desde hace muchos años se viene impulsando modos sostenibles de movilidad urbana como el transporte público, la bicicleta y el caminar. Priorizar estas formas de transportarse contribuye a reducir la congestión y a mejorar los tiempos de viaje. Hidalgo et al. (2019) señala que, a pesar de la acelerada motorización, las ciudades latinoamericanas continúan dependiendo del transporte público, el cual sigue siendo la principal forma de transporte en términos de viajes. En América latina el transporte público se encuentra más asociado con los sistemas de tránsito rápido de autobuses (BRT). Este tipo de sistemas apareció por primera vez en Curitiba en 1972. Actualmente, 55 ciudades en América Latina cuentan con sistemas BRT y se ha implementado en más de 100 ciudades en los países en desarrollo.

Según Scoria (2016), se define los sistemas de buses colectivos (SBC) como aquellos que comparten vía con los demás vehículos y son de gran importancia en aquellas ciudades que no cuentan con transporte masivo. Estos sistemas son la base del transporte público y son fundamentales para la sostenibilidad social, ambiental y económica de las ciudades. Los SBC en las ciudades latinoamericanas se encuentran en distintos grados de evolución: en las mejores situaciones existe regulación, la flota está en buenas condiciones y hay algún nivel de integración de los buses con los demás modos de transporte. Sin embargo, aún hay mucho por mejorar. Hoy en día, en América Latina, se está más enfocado en crear o expandir las redes de transporte masivo que en interesarse en mejorar los SBC.

Son evidentes las deficiencias o problemas que impiden que el sistema de transporte público sea efectivo y compita contra los demás medios de transporte particulares, por lo que se han realizado estudios con el fin de mejorarlo. En el artículo de Valencia y Fernández (2013), se han realizado simulaciones de la interacción entre buses y transporte privado en tramos de vía, en paraderos y en intersecciones con semáforos, observándose que, dependiendo de cada escenario en particular con diferentes prioridades, se producen distintos beneficios. Por lo tanto, no existe una única solución para el aumento de la velocidad comercial de los buses en las arterias urbanas. En el artículo en mención se llega las siguientes conclusiones: Una pista solo bus con *set back* antes de llegar a una intersección ayuda a que buses y autos crucen sin interferencia la intersección; otra alternativa es ajustar los tiempos del ciclo y verde efectivo del semáforo basándose en la demanda de la intersección; y, por último, se concluye que los paraderos deben tener un número de sitios adecuado a la frecuencia de buses y a la demanda de pasajeros.

En el estudio realizado por Melero (2016), se analiza diferentes opciones con el fin de priorizar el transporte público en Santander, España. Se plantearon tres escenarios como lo es la situación actual, otro escenario habiéndose implantado un carril exclusivo para buses con priorización semafórica del carril bus, y la última situación con un carril bus de prioridad

intermitente priorizado semafóricamente. Empleando un software se realizaron seis simulaciones para luego realizar un estudio operacional con las consecuencias que trae consigo cada opción y evaluar cómo funciona la red. Se llegó a la conclusión de que la mejor solución es la implantación de un carril bus de prioridad intermitente debido a que permite una red de líneas más eficiente evitando el congestionamiento de los demás vehículos.

A nivel nacional, en Lima se puso en marcha en el 2010 el sistema BRT (Bus de Tránsito Rápido), más conocido como el Metropolitano, buscando de esta manera solucionar parte del caótico tránsito de Lima. Sin embargo, los resultados no fueron totalmente favorables debido a las aglomeraciones generadas a causa de la alta demanda en los diferentes distritos. Jara (2016) analiza el desenvolvimiento del Metropolitano de Lima y a su vez propone el sistema de transporte LRT (Tren Ligero), buscando determinar mediante un análisis costo-beneficio si esta última propuesta hubiera sido la más conveniente a largo plazo.

En el artículo de Nevo et al. (2017), se evalúan los factores de éxito de la evolución de Lima con respecto al sistema de transporte público urbano, concluyendo que tiene un índice de progreso que muestra que está aún lejos de poder cumplir con los requisitos que le permitan lograr un sistema de transporte sostenible e integrado, clasificándola como una ciudad líder emergente teniendo como riesgo la dificultad de poder satisfacer a tiempo las demandas de una población crítica con respecto al transporte.

Teniendo en cuenta la problemática en la capital, Rojas y Rosas (2021) realizan una investigación con la finalidad de reordenar el espacio urbano y aumentar la capacidad vial de la Av. Alfredo Benavides del distrito de Santiago de Surco, en el tramo entre la Av. Velasco Astete y el Jirón Morro Solar. Su propuesta es la eliminación de las bermas existentes en ambas direcciones de la vía, usadas actualmente para parquear vehículos, además de adicionar un carril exclusivo para buses para de esta forma dar prioridad al transporte público. Haciendo uso del software AIMSUN v7.0 para la simulación del modelo y teniendo en cuenta la normativa correspondiente, se logró comparar los dos escenarios, tanto el actual como el de la propuesta, obteniendo como resultado una mejora del 60% de la capacidad vial con respecto a la situación inicial.

Por su parte, Arias y Huayaney (2021), en su trabajo de investigación proponen una ampliación de la Av. Javier Prado Oeste a través de la implementación de un cuarto carril que sea de uso exclusivo para el transporte público. Se realiza el análisis y viabilidad de esta propuesta mediante una microsimulación con el software Vissim 23, el cual fue calibrado y validado mediante el indicador GEH. Como resultado se obtuvieron mejoras en la velocidad de los buses, disminución de las longitudes de cola en las intersecciones y mejores niveles de servicio en el tramo delimitado. Además, se recalca que la propuesta debe ser implementada con políticas de movilidad y herramientas tecnológicas de señalización de manera que se favorezca el uso del transporte público.

A nivel provincial, Piura ha aumentado considerablemente su población urbana con respecto a la rural a lo largo de los últimos años, lo que ha impactado negativamente en la movilidad. En la Ordenanza N.º 242-01CMPP de la Municipalidad Provincial de Piura, con fecha 12 de setiembre de 2019, se declaran como ejes viales saturados a la Av. Andrés A. Cáceres, la Av. Guardia Civil, la Av. Sánchez Cerro, la Av. Grau, y la Av. don Bosco. La congestión en el sistema vial se debe principalmente al uso de vehículos de baja capacidad, lo que origina que existan muchas unidades con pocas personas, por lo que al haber mayor presencia de estos vehículos hay mayor congestión. Martínez et al. (2019) en el Plan Maestro de Movilidad Urbana Sostenible de la Provincia de Piura, menciona como una alternativa de solución sostenible la implementación de un sistema de transporte público masivo del tipo BHLS (*Bus with High Level of Service*) en el sistema de transporte de Piura, el cual brinda carriles de prioridad bus al lado derecho de la vía, pago con tarjeta sin contacto, entre otros. Hoy en día, este plan constituye una herramienta de planificación fundamental para la provincia de Piura y consta de cuatro etapas con un horizonte temporal al 2023.

Es importante tener en cuenta que actualmente, el Programa Nacional de Transporte Urbano Sostenible (Promovilidad) perteneciente al Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) y la agencia de cooperación alemana KFW, se encuentran en la elaboración del estudio de diseño del Sistema Integrado de Transporte (SIT) para la provincia de Piura. El “Proyecto de inversión de transporte masivo en el corredor troncal del sistema integrado de transporte de la ciudad de Piura”, presenta una extensión de 12.9 Km para su corredor troncal y comprende avenidas como: Sánchez Cerro, Cáceres, Progreso y Gulman. Si bien es cierto, la Av. Grau se ha considerado como un eje secundario de este proyecto, se cree necesario que también exista la iniciativa de tomar medidas sostenibles en esta avenida, la cual cuenta con importantes centros comerciales, centros médicos y zonas de gran valor histórico, siendo esta la única que dirige directamente a los usuarios hacia el centro histórico de la ciudad de Piura.

El Plan Maestro de Movilidad Urbana Sostenible de la Provincia de Piura sienta las bases en lo que debería ser el futuro Sistema Integrado de Transporte Público (SIT) de Piura. el cual comprenderá dos rutas Troncales (T01, T02), tres rutas urbanas (U02, U03, U04), seis rutas auxiliares (A01, A02, A03, A04, A05, A06) y dos rutas interurbanas (I01, I02). Entre estas rutas se tiene a la Av. Sánchez Cerro, Cáceres, Progreso y Gulman, siendo considerada la Av. Grau como un eje secundario. Las rutas troncales, urbanas y auxiliares, darán cobertura a los cuatro distritos del Área Metropolitana de Piura (Piura, Castilla, Catacaos y Veintiséis de Octubre), y, por otro lado, las rutas interurbanas conectarán el Área Metropolitana de Piura con los restantes seis distritos (Tambogrande, La Arena, La Unión, Las Lomas, Cura Mori y El Tallán). El SIT se encuentra en su etapa inicial de elaboración de estudios de pre-inversión. Como resultado del Plan de Movilidad, se propone una implementación gradual del futuro SIT de Piura: primero se implementarían las rutas troncales y dos rutas urbanas, después las restantes dos rutas urbanas y las dos primeras rutas auxiliares y, finalmente las restantes:

cuatro rutas auxiliares y las rutas interurbanas (Banco de Desarrollo de América Latina et al., 2019)

Ríos (2018) realiza un diagnóstico de la situación de la ciudad de Piura con respecto al tránsito, enfocándose en la Av. Cáceres. A partir de las fallas técnicas del sistema vial encontradas, propone soluciones a mediano y a largo plazo; para ello hace uso de softwares de simulación y análisis de tránsito como Synchro 8 e Infra Works para representar tres escenarios: uno con la situación actual de la vía, el segundo con propuesta de semaforización y cambios geométricos menores, y el tercer escenario es analizado a futuro con la implementación de intersecciones *Continuous-Flow Intersection* (CFI)

Es evidente que alrededor del mundo se está priorizando desde hace algunos años los medios de transporte sostenibles, dándole más protagonismo al transporte público y fomentando su uso. Así mismo, a nivel nacional se está proponiendo alternativas de solución al caos vehicular no solo enfocándose en el vehículo privado, sino también implementando carriles segregados para buses y ciclovías. Es por ello por lo que se cree conveniente e importante que en la ciudad de Piura exista un desarrollo urbano con enfoque en la movilidad sostenible favoreciendo el cambio modal, con la reducción del uso de vehículos privados y promoviendo el uso de transporte público y transporte no motorizado. Para conseguir este objetivo es necesario comenzar a implementar proyectos que ayuden a mejorar la eficiencia del sistema y con el tiempo migrar hacia un modelo de movilidad urbana sostenible.

2.2 Ubicación de la vía en estudio

El área de estudio corresponde a la Av. Grau, considerada actualmente uno de los ejes principales de la ciudad de Piura por su importante valor comercial, cultural y social. Dicha avenida se extiende de oeste a este, desde la intercepción con carretera Panamericana Norte en dirección a la vía evitamiento de Piura hasta el óvalo Grau, en este recorrido atraviesa dos distritos importantes: Piura y Veintiséis de Octubre.

El sentido del tráfico que se tomará en esta investigación será de oeste a este y viceversa, debido a que es muy común que los pasajeros se dirijan hacia el centro de la ciudad. Las intersecciones más importantes y con mayor tráfico en este recorrido son las siguientes:

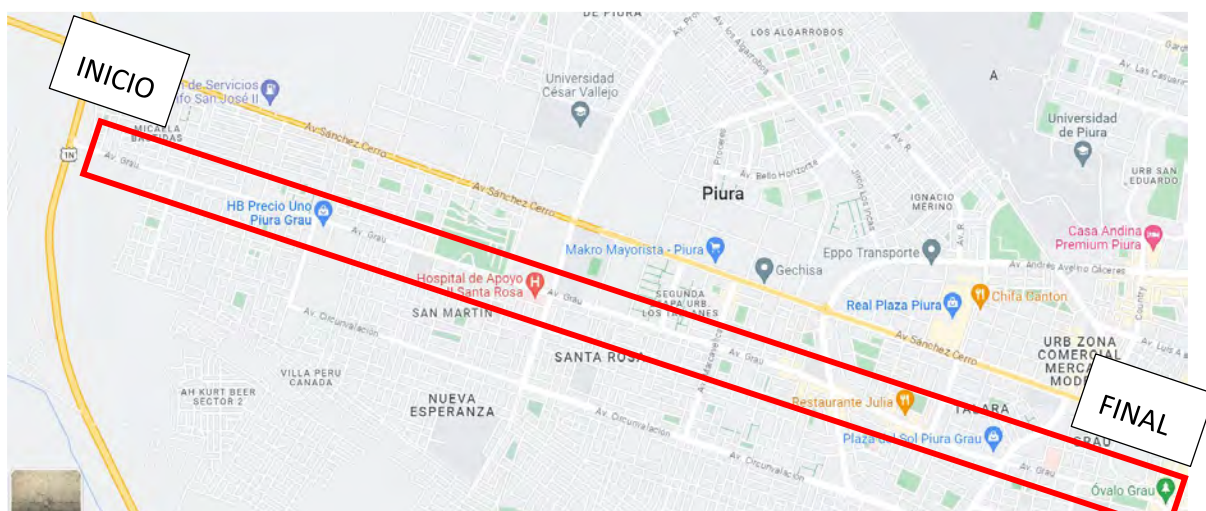
- Av. Grau – Av. Raúl Mata La Cruz
- Av. Grau – Av. César Vallejo
- Av. Grau – Av. Vice
- Av. Grau – Av. Guillermo Gulman

Se ha creído conveniente que el carril bus a implementar tenga inicio en la intersección de la Av. Grau con la calle C.J. y culmine en el óvalo Grau. Ver Figura 8. El carril finalizaría en la

entrada al óvalo Grau, por lo que se tendría circulando en carriles compartidos alrededor del óvalo a buses de transporte público y demás vehículos. Sin embargo, si se requiere un análisis más profundo y completo sobre la viabilidad de un carril bus en el óvalo Grau, es necesario realizar un estudio de tráfico en esta zona y evaluar las dimensiones de la infraestructura actual, lo cual sería motivo de un estudio más detallado.

Figura 8

Inicio y final de propuesta de carril bus en la Av. Grau



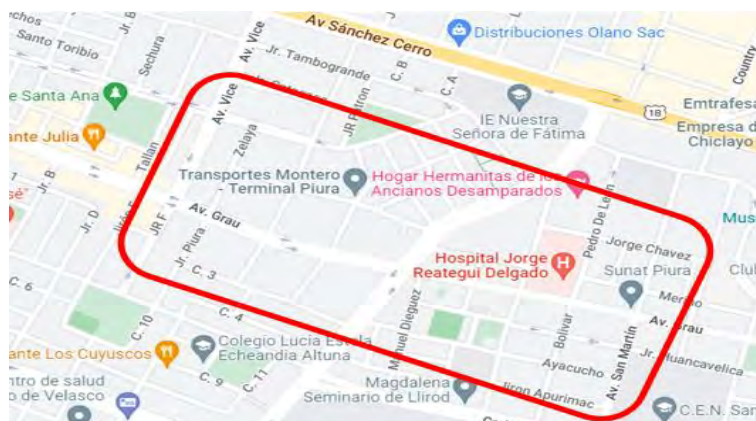
Nota: Elaboración propia, adaptado de Google Maps

Con el fin de comprobar si la implementación de un carril bus a lo largo de toda la avenida Grau solucionaría de forma sostenible los actuales problemas de congestión vehicular que se presentan durante las horas más críticas del día, en la presente investigación se ha tomado una zona específica de estudio para fines de diseño y simulación, el cual se ha denominado tramo piloto, teniendo como inicio en la intersección de la Av. Grau con la Avenida Vice y finalizando en la intersección con la Av. San Martín. Ver Figura 9.

Se ha elegido este tramo corto y no uno más extenso pues se busca comprobar la viabilidad de la propuesta de solución aplicándola al tramo más crítico de la avenida, el cual abarca dos zonas con diferente geometría vial (una con separador central y la otra sin este), además de que comprende una intersección importante de la ciudad de Piura que es la Av. Grau con Av. Gulman, zona en donde se genera la mayor parte de caos vehicular. Adicional a esto, en este tramo se tiene importantes atracciones como centros comerciales, hospitales, centros educativos, iglesias, grifos, entidades públicas y privadas, entre otros; estos generan gran concurrencia, convirtiéndolo en uno de los más transitados de la avenida Grau.

Figura 9

Ubicación del tramo piloto en la zona de estudio



Nota: Elaboración propia, adaptado de Google Maps

En la Tabla 4, se muestran las coordenadas de las intersecciones a evaluar en el tramo piloto, las cuales se obtuvieron con *Google Earth Pro* y se encuentran en el sistema *Universal Transversal de Mercator* (UTM).

Tabla 4

Coordenadas de inicio y fin de la zona de estudio

Intersección	Coordenadas UTM
Av. Grau - Av. Vice (Inicio)	17M 539535 9426123
Av. Grau – Av. Guillermo Gulman	17M 539998 9425961
Av. Grau – Av. San Martín (Final)	17M 540457 9425842

El tramo estudiado comprende las siguientes intersecciones:

- Av. Grau – Av. Vice
- Av. Grau – Jr. Zelaya
- Av. Grau – Jr. Las Lomas
- Av. Grau – Jr. Tomás Cortés
- Av. Grau – Av. Guillermo Gulman
- Av. Grau – Jr. Manuel Diéguez
- Av. Grau – Jr. Tomás Diéguez
- Av. Grau – Jr. Tonsman

- Av. Grau – Jr. Pedro de León
- Av. Grau – Av. San Martín

2.3 Datos generales de la zona de estudio

La avenida Miguel Grau es una de las avenidas colectoras principales de la ciudad de Piura, atravesando gran parte de la ciudad hacia el centro histórico, es por ello que aquí se encuentran ubicados importantes centros de atracción.

2.3.1 Puntos de atracción

A continuación, se detallan los diferentes puntos de atracción que se encuentran dentro del tramo de estudio.

- Centros de salud: Se encuentran diferentes establecimientos de salud como hospitales, clínicas, consultorios particulares, entre otros. Uno de los principales centros de salud pública en la ciudad es el Hospital Jorge Reátegui, también se localizan clínicas oftalmológicas, dentales y consultorios médicos de diferentes especialidades.
- Entidades del estado: En la intersección con la Av. San Martín se localiza la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT). Además, se encuentra la oficina de Seguros y Prestaciones Económicas Piura (OSPE).
- Locales comerciales: A lo largo de la Av. Grau se encuentra gran variedad de locales comerciales como por ejemplo el supermercado Maxi Ahorro, el centro comercial Plaza del Sol, farmacias como Inkafarma o Botica Felicidad, tiendas de productos para el hogar como Cassinelli, entre otras.
- Centros educativos: En el tramo de estudio se encuentra ubicado el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO).
- Grifos: En la intersección de la Av. Gulman con la Av. Grau se encuentra situado el grifo Pecsca. Así mismo, en la prolongación Grau con Jirón Las Lomas, se encuentra la estación de servicios San José, y situado en la intersección de la Av. Grau con la calle Tomás Diéguez está el grifo Primax Grau.
- Centros religiosos: Se encuentra la Parroquia San José Obrero, ubicada en la Av. Vice con la Av. Grau, y la Parroquia Santísimo Sacramento, localizada en la de la Av. San Martín con la Av. Grau.

2.3.2 Tipos de vehículos

Mediante una visita a campo, se pudo determinar los diferentes tipos de vehículos que circulan en la zona de estudio.

- Buses de transporte público: En el tramo de estudio circulan buses de transporte público. La empresa que circula por esta ruta es la Super Star S.R.L.

- b) Minivanes: Transitan minivanes para el transporte de estudiantes, de personal o con fines turísticos.
- c) Buses de transporte interurbano: Las empresas de transporte interurbano que circulan por la zona son Montero S.A.C., la cual maneja destinos a Sullana, Talara, Máncora, Los Órganos y El Alto y la empresa de transporte Andrea Express, la cual tiene a Paíta y Sechura como destinos. El terminal principal de ambas empresas de transporte se ubica en la urbanización Monterrico (espaldas del centro comercial Plaza del Sol).
- d) Camiones: Circulan camiones de baja capacidad destinados a la carga de productos.
- e) Mototaxis: Este es un tipo de vehículo con alta frecuencia de tránsito en la Av. Grau. Tienen una capacidad máxima de tres pasajeros.
- f) Motos lineales: Unidades vehiculares de capacidad máxima un pasajero.
- g) Autos: Los autos son vehículos que cuentan con un alto índice de participación dentro de la zona de estudio. Se distinguen autos particulares y autos para servicio de taxi, estos últimos trabajan bajo dos modalidades: taxi disperso y taxi colectivo. Los taxis colectivos son los más utilizados, contando con rutas registradas del tipo urbano e interurbano.
- h) Camionetas: El tipo de camionetas más frecuentes en el tramo estudiado es el tipo *pick up*, las cuales tienen una alta capacidad de remolque y con una caja trasera para el transporte de mercancías.
- i) Bicicletas: Al no contar con una infraestructura adecuada para bicicletas dentro de la Av. Grau, la presencia de los ciclistas es baja en comparación con la de los vehículos motorizados, sin embargo, sí se observa la preferencia de algunos usuarios por este medio de transporte.

En la Figura 10, se muestran los tipos de vehículos que transitan por la Av. Grau.

Figura 10

Tipos de vehículos circulando por la Av. Grau



2.4 Problemática actual en la zona de estudio

a) Veredas

Una parte considerable de las veredas de la Av. Grau no se encuentran en buenas condiciones, como se puede apreciar en la Figura 11, en donde se observa las veredas bastante desgastadas y las cajas de los buzones sobresaliendo. Incluso hay zonas de la Av. Grau en donde las veredas están destruidas o no existen (Ver Figura 12), significando un gran riesgo para los peatones debido a que los conductores de los vehículos invaden esta zona, pudiendo ocasionar un siniestro vial a quienes transitan por donde estaba o debería estar la vereda. Cabe resaltar que, en el ámbito de transporte, existe diferencia entre los conceptos de accidentes y siniestros de tránsito. El término accidente hace referencia a un suceso imprevisto e involuntario, el cual ocasiona daños físico y materiales, y un siniestro de tránsito es aquel hecho que puede ser evitado y muchas veces predecible. En conclusión, si algo se puede evitar no es un accidente.

Figura 11

Veredas en mal estado en la Av. Grau



Figura 12

Inexistencia de veredas en el sector oeste de la Av. Grau



Además, las graderías de centros de salud como el hospital Reátegui, se encuentran en condiciones de deterioro, presentando un peligro latente para los peatones, y en especial para los pacientes que se atienden aquí, siendo los niños, ancianos y discapacitados los más vulnerables. Ver Figura 13.

Figura 13

Graderías del hospital Reátegui en mal estado

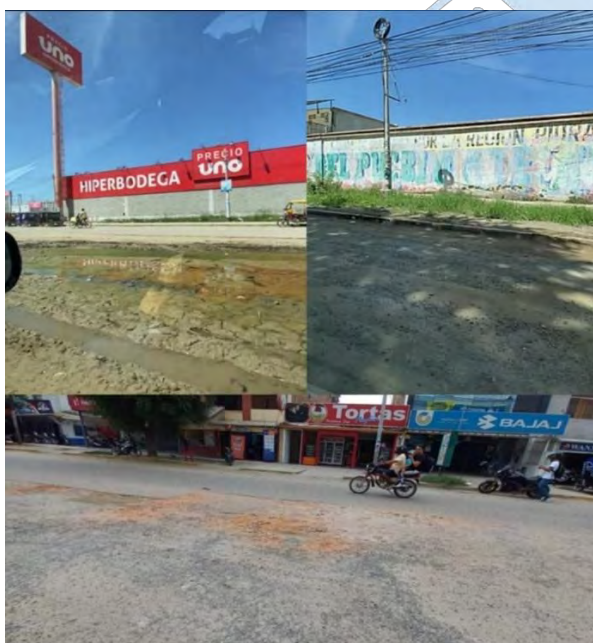


b) Pavimento

El pavimento en la Av. Grau se encuentra en malas condiciones en general, en algunas zonas más que en otras pues se encuentra destruido y no se ha pavimentado nuevamente. Estas situaciones del pavimento dañado son apreciables a lo largo de toda la Av. Grau, y todo ha empeorado debido a la presencia de lluvias torrenciales que afronta la ciudad de Piura y todos los departamentos de la costa norte Peruana.

Figura 14

Pavimento destruido en diferentes zonas de la Av. Grau



c) Semáforos

En algunos semáforos de las intersecciones de la avenida Grau no se distinguen con claridad los números de los semáforos que cuentan con cronómetro (Ver Figura 15), generando duda entre los conductores al no saber el tiempo restante de cada fase del semáforo. Además, por momentos no aparece ninguna luz de fase (Ver Figura 16), por lo que peatones como conductores se encuentran en la incertidumbre de saber en qué fase actual del semáforo, lo cual puede generar siniestros viales.

Figura 15

Cronómetro poco legible en Av. Grau – Av. Gullman



Figura 16

Semáforo vehicular malogrado en Av. Grau – Av. San Martín



Otro problema resaltante es que, en algunas intersecciones, a pesar de su importante circulación de tráfico, no se cuenta con señalización informativa indicando la avenida que atraviesan. Ver Figura 17.

Figura 17

Semáforos sin señales informativas en intersección Av. Grau con Av. Vice



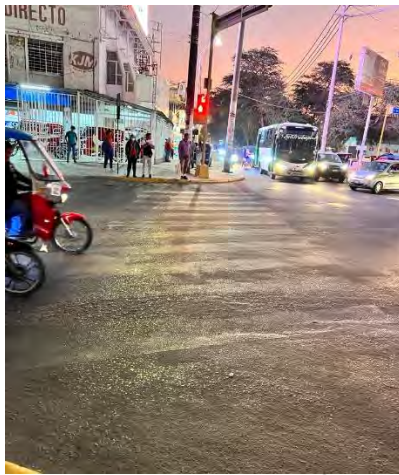
Por otro lado, se tiene semáforos peatonales en pocas intersecciones de la Av. Grau, cuando deberían de estar presentes en las mismas en donde hay semáforos vehiculares, dándole prioridad a los peatones para que se sientan seguros al momento de cruzar la calle.

d) Demarcación horizontal

Se observa que la señalización horizontal se encuentra en estado deficiente en casi toda la Av. Grau. Las líneas peatonales, flechas, letras y símbolos que deberían estar marcados sobre el pavimento y sardineles, tienen una pintura deteriorada y en otros casos no se cuenta con demarcaciones horizontales, ya sea porque no se han colocado o porque se han desgastado tanto que ya no se distingue (Ver Figura 18).

Figura 18

Intersecciones de la Av. Grau con demarcación horizontal desgastada o ausente



e) Demarcación vertical

Si bien es cierto, sí se cuenta con demarcación vertical en buena parte de la Av. Grau, la zona de la Av. Grau más alejada del centro de la ciudad se encuentra en un estado deplorable en cuanto a señalización horizontal y vertical. Las señales de paraderos se encuentran torcidas y en muy mal estado, y la población las utiliza para dejar aquí su basura (Ver Figura 19).

Figura 19

Señalización vertical en paraderos de buses en mal estado en la Av. Grau



f) Informalidad en el transporte público

Existe mucha informalidad del transporte público en la ciudad de Piura. Las calles han sido invadidas por taxis y mototaxis que buscan pasajeros en paraderos improvisados en cada esquina y en medio de las calles de la Av. Grau, y en general, en toda la ciudad. La informalidad de los taxis colectivos es parte de la problemática, pues estos atraen pasajeros que buscan otra alternativa a los buses de transporte público debido a la ineficiencia y demora de viajes. Por otro lado, el vicepresidente de la Federación Central de Transportes de Mototaxistas de Piura, Carlos Vargas (2021), expresó que de los 20,000 conductores de mototaxis que operan en Piura Metropolitana, solo 8,000 se encuentran en la formalidad. A esto, debe de sumarse la informalidad de las motos lineales que ofrecen servicio de transporte público de personas, a pesar de estar prohibido.

g) Estado de los paraderos de transporte público

La mayoría de los paraderos de transporte público de la Av. Grau no cuentan con señalización ni infraestructura adecuada para brindar accesibilidad, seguridad, comodidad e información a todos los usuarios que desean esperar el siguiente bus; además de no estar ubicados a distancias ni en zonas estratégicas. Es conveniente recalcar que, en la zona más alejada de la avenida con respecto al centro histórico de la ciudad, no existe ningún tipo señalización que indique zona de paradero. Como es evidente al recorrer la Av. Grau, existe una minoría de paraderos que se encuentran señalizados y que cuentan con refugio para pasajeros y, aun así, algunos de estos se encuentran en mal estado (Ver Figura 20)

Figura 20

Paradero de servicio público en mal estado en la Av. Grau



h) Comportamiento de usuarios y conductores de transporte público

Una de las situaciones más evidentes y que genera parte del desorden vehicular, es producida porque los conductores de buses de transporte público y los usuarios de los mismos realizan paradas en cualquier punto que los pasajeros lo pidan, sin importar estar sobre un paso peatonal o con el semáforo en verde. Esto es consecuencia de la falta de educación vial, y, además, por la falta de atractivo que ven los usuarios en solo una señal vertical indicando zona de paradero. Sin la comodidad para la espera y sin información acerca de las rutas de los

buses, los usuarios ignoran las paradas establecidas. Además de ello, se debe de tener en cuenta que Piura, al ser una ciudad muy calurosa y soleada, los pasajeros buscan un lugar sombreado para esperar, por lo que pasan por alto la zona que demarca el paradero. Todo esto ocasiona desorden de los conductores del bus de transporte público como de los pasajeros, lo que conlleva al caos vehicular al parar en cualquier punto de la avenida. Ver Figura 21.

Figura 21

Pasajeros subiendo y bajando en la Av. Grau, sin respetar los paraderos oficiales



Además, no se respetan las señales de tránsito, en la Figura 22 se observa claramente como existe una señal vertical indicando la prohibición de paraderos, sin embargo, los pasajeros se encuentran en esa zona esperando el bus y cuando el bus llega aquí, para recoger a los pasajeros

Figura 22

Usuarios esperando en zona de paraderos prohibidos



i) Áreas verdes

A lo largo de toda la Av. Grau, se pueden distinguir algunas áreas verdes en separadores centrales y laterales donde la geometría de la sección lo permite, estas se mantienen con riego de cisterna; sin embargo, no todas estas áreas se encuentran en buen estado (Ver Figura 23). Piura, al ser una ciudad calurosa y con temperaturas bastante altas durante verano, necesita de árboles que brinden sombra y le den un aspecto más verde a la ciudad, de esta forma se incentivaría a los ciudadanos a caminar o manejar bicicleta para desplazarse, pues el ambiente sería refrescante y menos dañino que cuando cae el sol directamente a la piel.

Figura 23*Zona de áreas verdes sin mantenimiento en Av. Grau*

j) Presencia de maquinaria pesada

El tránsito de equipos de maquinaria pesada en la zona céntrica de la avenida Grau (Ver Figura 24), ocasiona reducción del ancho de calzada para los vehículos menores, además de ser un gran peligro para los peatones o para los ciclistas.

Figura 24*Maquinaria pesada transitando por la Av. Grau en hora punta del día*

Además, no están regulados los horarios de riego de las áreas verdes con cisterna, pues se realizan en cualquier horario incluso estando en hora punta del día, lo que complica el tráfico que de por sí ya está congestionado. Ver Figura 25.

Figura 25*Riego de jardines en la Av. Grau con cisterna en hora punta de la mañana*

2.5 Empresas de transporte público en la avenida Grau

De acuerdo con el Plan Regular de Rutas de la Provincia de Piura (Municipalidad Provincial de Piura, 2014), se contempla la existencia de 19 rutas urbanas e interurbanas. Sin embargo, el Plan Maestro de Movilidad Urbana Sostenible, indica que al 2019, solamente 12 rutas se encuentran en funcionamiento. Es decir, se tiene una urgente necesidad de actualizar el Plan Regulador de Rutas, el cual se encuentra desactualizado desde el año 2014, lo que conlleva no solo a la falta de precisión en la información sobre las rutas de transporte público, sino que también genera una distribución ineficiente de los servicios hacia los usuarios.

En la Avenida Grau, mediante inspecciones visuales durante las diferentes visitas a la zona de estudio, se observó que, actualmente, dentro del tramo de estudio, solo circula la empresa Transportes Unidos Super Star S.R.L.

2.6 Evaluación del servicio de transporte público en la Avenida Grau

Con el objetivo de identificar el estado actual de la calidad de servicio que ofrecen los buses de transporte público a lo largo de la avenida Grau, se procedió a tomar una unidad dentro de la misma avenida y seguir su recorrido, con el fin de realizar una inspección del servicio ofrecido.

El primer problema que se corroboró fue que las unidades de servicio se detienen en paradas no establecidas (Ver Figura 26), se estacionan en el lugar donde los usuarios se encuentren esperando al bus, sin importa si es a mitad de la pista, después de un semáforo, o zona prohibida de paraderos. Esto puede ser producto de que no existen paneles informativos al alcance de los usuarios donde se indiquen las paradas establecidas, los horarios y el recorrido de los buses; además de que los paraderos actuales son muy pocos y solo cuentan con una señal vertical en mal estado para indicar que es zona de paradero, lo cual sumado a que no se tiene refugios para que los usuarios esperen al siguiente bus, hace que estas zonas pasen desapercibidas por los pasajeros.

Figura 26

Bus de transporte público deteniéndose a mitad del carril para recoger pasajeros



Dentro de las unidades se identificó que se tienen señales informativas acerca del libro de reclamaciones, tarifario, asientos reservados, de prohibición del acoso sexual dentro de la unidad y demás acciones que se encuentran prohibidas. Ver Figura 27.

Figura 27

Señales informativas dentro del bus de transporte público



Sin embargo, se identificó un letrero que indica “Avisa una cuadra antes de bajar” (Ver Figura 28), lo que evidencia lo comentado anteriormente, que existe la cultura tanto del usuario como de la empresa de transporte de pedir parar la unidad en cualquier lugar.

Figura 28

Señal de "Avisar una cuadra antes de bajar"



Por otro lado, se observó que existe la modalidad de “chofer cobrador” es decir, el mismo chofer es el encargado de cobrar a los usuarios al momento de ingresar a la unidad, solo se acepta pago en efectivo. Ver Figura 29.

Figura 29

Modalidad "Chofer cobrador"



Durante todo el recorrido se evidenció una gran cantidad de personas se transportan de pie, sosteniéndose de los pasamanos. Además, se observó como uno de los usuarios, en este caso una señora mayor, se transportaba sentada sobre una superficie que no era un asiento (Ver Figura 30). Esto refleja la falta de empatía de los usuarios más jóvenes al no ceder su asiento a una persona mayor, y a su vez, la poca de seguridad que ofrecen las unidades de transporte público hacia sus pasajeros, exponiéndolos a riesgos innecesarios al permitirles transportarse de cualquier forma con tal de llevar el bus lleno.

Figura 30

Pasajeros no sentados en los asientos del bus



Asimismo, se comprobó que dentro de las unidades no existe un espacio destinado a las personas en silla de ruedas, tampoco existen rampas, elevadores ni anclajes que faciliten la accesibilidad a personas con discapacidad. Las unidades no cuentan con las características mínimas de accesibilidad, ya que el nivel y la altura de gradas hace imposible que una persona con alguna discapacidad física pueda acceder al transporte público.

Capítulo 3

Metodología, recolección y procesamiento de datos de campo

3.1 Metodología

El objetivo de la presente investigación es priorizar la circulación de los buses de transporte público mediante la implementación de un carril solo bus en un tramo piloto de la avenida Grau que abarca desde la Av. Vice hasta la Av. San Martín. Con esta propuesta se busca mejorar el congestionamiento vehicular ocasionado en la Av. Grau fomentando el uso del transporte público para así convertirlo en un medio de transporte eficiente y sostenible.

El primer paso será elegir las tres intersecciones más relevantes dentro del tramo de estudio, para luego recolectar en campo los datos necesarios para la posterior microsimulación, como lo son las condiciones geométricas (número y ancho de carriles, veredas, berma central, calzadas y otros) y de tránsito (fases semafóricas) del tramo a estudiarse de la avenida Grau.

La recolección de datos en campo para el aforo vehicular se realizará en 3 días típicos de semana: días hábiles (lunes 14 de noviembre del 2022 y viernes 18 de noviembre del 2022) y días no hábiles (sábado 19 de noviembre del 2022) durante el periodo de 1 hora (11:00 a.m. a 12:00 p.m.), siendo esta la hora pico. Para la determinación de hora pico se ha tenido en cuenta el estudio de tráfico realizado en “Mejoramiento del servicio de movilidad urbana de la prolongación de los distritos de Piura y Veintiséis de Octubre, provincia y departamento de Piura”, por el Mgtr. Ing. Jorge Alberto Timaná Rojas en el año 2021, en donde según su data recolectada en el conteo vehicular, se llega a la conclusión de que la hora pico en la Avenida Grau es de 11:00am a 12:00 p.m.

El aforo vehicular de las intersecciones seleccionadas del tramo de estudio se realizará con videograbaciones de celulares de manera simultánea en cada intersección. Se ha elegido esta forma de recolectar datos debido a que se espera que el conteo sea preciso, contabilizando vehículos por intervalos de 15 minutos durante una hora.

Luego, se procederá con la elaboración de los flujogramas. Para ello, se identificarán los cuatro accesos con los que cuentan las intersecciones y los movimientos permitidos dentro de cada acceso durante una hora determinada (11 a.m. a 12 p.m.) de los tres días del estudio (lunes 14, viernes 18 y sábado 19 de noviembre de 2022). Después, se sumarán los movimientos existentes en cada acceso de cada tipo de vehículo dentro de la hora determinada. Finalmente se hará una conversión a unidad de vehículos equivalentes (UVE), lo cual significa multiplicar por factores de conversión.

Asimismo, se realizarán visitas a campo con el objetivo de determinar los ciclos semafóricos existentes en las intersecciones del tramo de estudio. Se ubicarán puntos estratégicos de visualización y con la ayuda de un cronómetro se medirán manualmente los tiempos actuales del semáforo en todos los sentidos de cada intersección. Para estas

mediciones, se tomarán en cuenta los semáforos ubicados en las tres intersecciones claves dentro del tramo de estudio: Av. Vice, Av. Gulman y Av. San Martín.

Con los datos que se obtendrán de los aforos vehiculares, se realizará un análisis porcentual de los tipos de vehículos que circulan a lo largo de la zona de estudio. Dicho análisis se hará en las tres intersecciones. Además, se identificarán lugares estratégicos para paraderos de buses de transporte público en el tramo de estudio.

Se hará uso del software Vissim 24 para realizar la microsimulación de los tres escenarios propuestos en este proyecto, los cuales serán evaluados en el año base 2022, y, además, cada escenario se evaluará también con su respectiva variante proyectada al 2027. La evaluación detallada de cada uno de los tres escenarios, con una variante a 5 años, se justifica debido a la naturaleza de esta tesis, la cual se enfoca en la evaluación de un proyecto piloto, para una eventual implementación de carriles exclusivos para buses. Además, considerando el contexto específico de la ciudad de Piura, donde las iniciativas de movilidad urbana sostenible han comenzado a implementarse recientemente, es propicio realizar esta evaluación en un periodo más breve de tiempo. Esto permitirá evaluar la adaptación de los usuarios al carril bus y determinar si las medidas implementadas están cumpliendo con las expectativas o deben reevaluarse.

El primer escenario reflejará la situación actual del año base 2022 del tramo piloto, teniendo en cuenta los volúmenes vehiculares existentes, los ciclos semafóricos actuales y sin realizar modificaciones en la geometría vial; la variante de este escenario considerará volúmenes vehiculares proyectados a cinco años, los ciclos semafóricos actuales y no se realizará modificaciones en la geometría vial actual. Asimismo, para ambas situaciones del primer escenario se ubicarán los puntos de subida y bajada de paraderos en lugares no oficiales, para reflejar la práctica común observada en la realidad. El análisis de este escenario es esencial para evaluar las posibles mejoras sostenibles que deberán implementarse con el fin de brindar prioridad al transporte público sobre los vehículos particulares.

En el segundo escenario se implementará un carril segregado exclusivo para buses en el lado derecho de la vía en el año 2022 y también con una variante de proyección de tráfico a futuro al 2027. Para ambas situaciones del segundo escenario se mantendrán los ciclos semafóricos existentes y el comportamiento actual de subida y parada de pasajeros en cualquier punto de la avenida, esto con el fin de evaluar si ocurren mejoras con solo la implementación del carril bus en la avenida. Este escenario propone una iniciativa para la toma de medidas sostenibles ante la problemática de la congestión vehicular.

En el tercer escenario se considerará la implementación del carril bus segregado en el lado derecho de la vía, aplicando una reducción sobre el tráfico actual del 15% del volumen de autos y camionetas y una reducción del 100% del volumen de motos y mototaxis. La diferencia entre este escenario y el escenario dos, además de la reducción de tráfico, es que se implementarán también medidas complementarias que harán más atractivo al transporte

público para los usuarios. Este tercer escenario, al igual que los anteriores, se evaluará en el año 2022 y en un futuro de cinco años. En ambas situaciones se tendrá en cuenta los tiempos semafóricos existentes, y se diseñarán y ubicarán estratégicamente nuevos paraderos a lo largo del tramo piloto, esto con el fin de que el transporte público luzca más atractivo y eficiente. Este escenario pretende evaluar mediante una propuesta completa el tráfico en una situación en la que se priorice a los buses de transporte público, con el fin de convertir a Piura en una ciudad con un enfoque sostenible y con el tiempo, se comience a migrar desde el transporte particular al transporte público.

En cada uno de los escenarios propuestos se evaluará las longitudes de cola, los niveles de servicio, y los tiempos de viaje y velocidad del transporte público. El siguiente paso será la calibración del modelo. En el presente estudio se realizará la calibración por volúmenes utilizando la estadística GEH, la cual compara dos grupos de volúmenes de tráfico para demostrar que los flujos de tránsito dentro del modelo coinciden con los recuentos reales de tráfico con un nivel aceptable de precisión. Finalmente, se procederá a la evaluación y el análisis de los resultados de la microsimulación.

3.2 Recolección y procesamiento de datos de campo

3.2.1 Selección de intersecciones de estudio

Para el presente proyecto de investigación se han escogido las tres intersecciones más relevantes dentro del campo de estudio. La primera es la intersección con la avenida Vice, la cual marca el inicio del tramo y representa una intersección importante ya que concentra a su alrededor a la Parroquia San José Obrero, farmacias, negocios, entre otros. Además, esta avenida es uno de los principales accesos al centro comercial Real Plaza, siendo este, uno de los más grandes y concurridos de la ciudad de Piura.

La intersección con la avenida Gulman fue la segunda intersección escogida: al ser la Gulman una avenida principal en la ciudad de Piura, posee un volumen vehicular considerable, lo que la convierte en la zona de mayor congestión vehicular en hora pico. Lo más atractivo de esta intersección es la presencia del centro comercial Plaza del Sol, el grifo Pecsá, la tienda de motos Ronco, entre otros negocios.

La intersección con la avenida San Martín ha sido la tercera seleccionada. Esta intersección, a pesar de tener menos afluencia que las otras dos, es también transitada por una gran cantidad de usuarios al encontrarse aquí la Parroquia Santísimo Sacramento, la SUNAT, consultorios médicos, entre otros.

En la Figura 31 se muestra la ubicación de las tres intersecciones seleccionadas.

Figura 31*Intersecciones en estudio de la Av. Grau**Nota:* Elaboración propia, adaptado de Google Maps

El tramo de estudio cuenta con dos distintas geometrías que se desarrollan a lo largo de la avenida. Desde la intersección con la Av. Vice hasta la intersección con la Av. Gulman, existe un separador central, y, por otro lado, desde la intersección con la Av. Gulman hasta la intersección con la Av. San Martín no se cuenta con separador central. El tramo de estudio piloto a simular permitió evaluar el compartimiento vehicular en ambas secciones de diferente geometría vial de la Av. Grau.

3.2.2 Características geométricas

Este procedimiento se realizó desde las 6 a.m. hasta las 9 a.m. del domingo, como se puede apreciar en la Figura 32. Se registraron las medidas necesarias de carriles, bermas centrales y veredas de las distintas secciones pertenecientes al tramo de estudio, con el uso de una wincha de 8 metros y libreta topográfica.

Figura 32*Toma de medidas de secciones en estudio en la Av. Grau*

En la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7, se muestran los datos de la medición de carriles en el tramo de estudio.

Tabla 5

Geometría en la intersección Av. Grau con Av. Vice

Geometría en la intersección Av. Grau con Av. Vice		
Sentido	N° de carriles	Ancho de carril (m)
E-O	2	4.20
O-E	2	4.20
N-S	2	3.00
S-N	2	3.00

Tabla 6

Geometría en la intersección Av. Grau con Av. Gulman

Geometría en la intersección Av. Grau con Av.		
Sentido	N° de carriles	Ancho de carril (m)
E-O	2	3.90
O-E	2	3.90
N-S	3	3.20
S-N	3	2.60

Tabla 7

Geometría en la intersección Av. Grau con Av. San Martín

Geometría en la intersección Av. Grau con Av. San		
Sentido	N° de carriles	Ancho de carril (m)
E-O	2	2.75
O-E	2	2.75
N-S	2	3.30
S-N	3	3.00

A lo largo de la Av. Grau, se tienen veredas con dimensiones variables, es por ello que en la Tabla 8 se detalla el ancho de las veredas en ubicaciones estratégicas del tramo de estudio.

Tabla 8*Geometría de veredas en la Av. Grau*

Geometría de veredas en la Av. Grau	
Veredas según ancho	Ancho de vereda (m)
Vereda frente a Plaza del Sol	1.67
Vereda frente a SENCICO	2.7
Vereda frente a oficinas de Essalud	1.5
Vereda frente a Maxi Bodega	2.4
Vereda frente a parroquia Santísimo Sacramento	2.6
Vereda frente a la SUNAT	2.5

En la Tabla 9, se muestra el ancho de los separadores, los cuales tienen diferente medida a lo largo del tramo de estudio.

Tabla 9*Geometría de separadores centrales en la Av. Grau*

Geometría de separadores centrales en la Av. Grau	
Separadores según ancho	Ancho de separador (m)
Ancho tipo 01	7.1
Ancho tipo 02	7.2
Ancho tipo 03	7.2

En la Tabla 10, se muestra el promedio del ancho entre la vereda y los sardineles, los cuales se encuentran a ambos lados de los carriles y tienen diferente medida a lo largo del tramo de estudio.

Tabla 10*Geometría de secciones entre vereda y sardinel en la Av. Grau*

Geometría de secciones entre vereda y sardinel en la Av. Grau	
Sección según ancho	Ancho de sección (m)
Sección frente a Plaza del Sol	4.63
Sección frente a SENCICO	4.19
Sección frente a oficinas de Essalud	3.00
Sección frente a parroquia Santísimo Sacramento	2.6
Sección frente a la SUNAT	2.05

A continuación, se presentan las dos secciones que detallan la geometría de la zona de estudio, con base en las mediciones realizadas. El tramo de estudio de la Av. Miguel Grau muestra dos tipos de características geométricas diferentes a lo largo de su recorrido. Mediante la herramienta de diseño urbano Streetmix, se realizó el diseño de las secciones transversales actuales.

En la Figura 33 se observa la extensión del tramo 1, el cuál abarca desde la intersección de la Av. Vice hasta la intersección con la Av. Gulman, y en la Figura 34 se muestra a detalle la geometría que caracteriza a este tramo. Se evidencia que existe un separador central, y dos carriles por sentido, además de veredas a cada lado de la calzada.

Figura 33

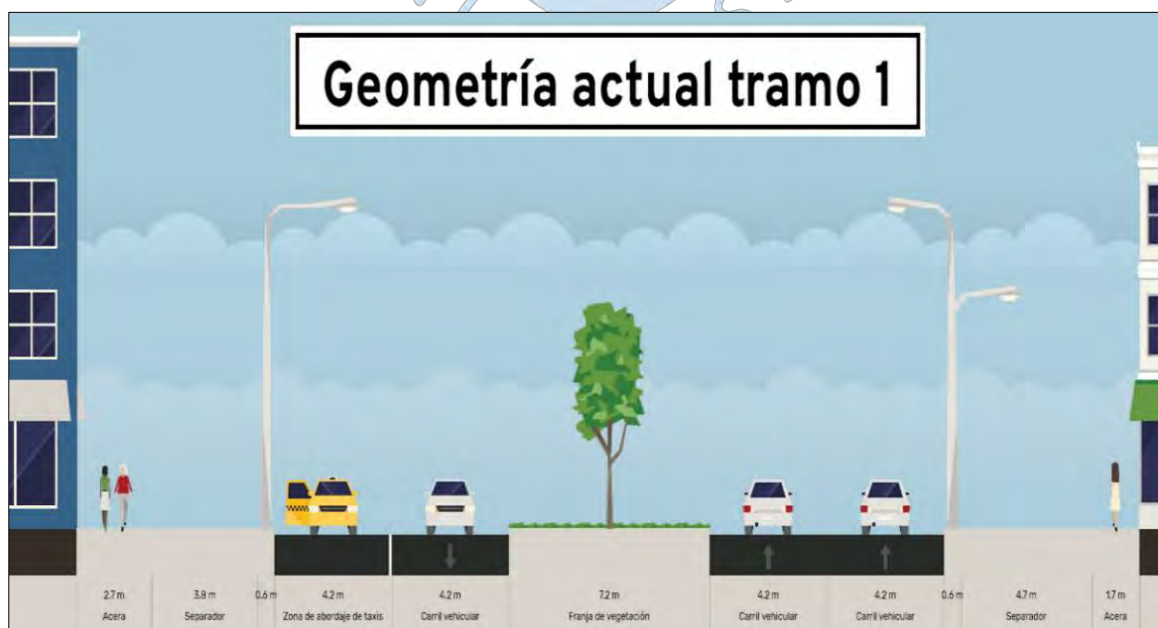
Extensión de tramo 1



Nota: Elaboración propia, adaptado de Google Earth

Figura 34

Dimensiones de sección transversal 01



En la Figura 35, se observa la extensión del tramo 2, el cuál abarca desde la intersección con la Av. Gulman hasta la intersección con la Av. San Martín, y Figura 36 se muestra a detalle la geometría que caracteriza a este tramo. Se observa que esta sección a diferencia de la sección del tramo anterior no cuenta con separador central y el ancho de la calzada es menor.

Figura 35

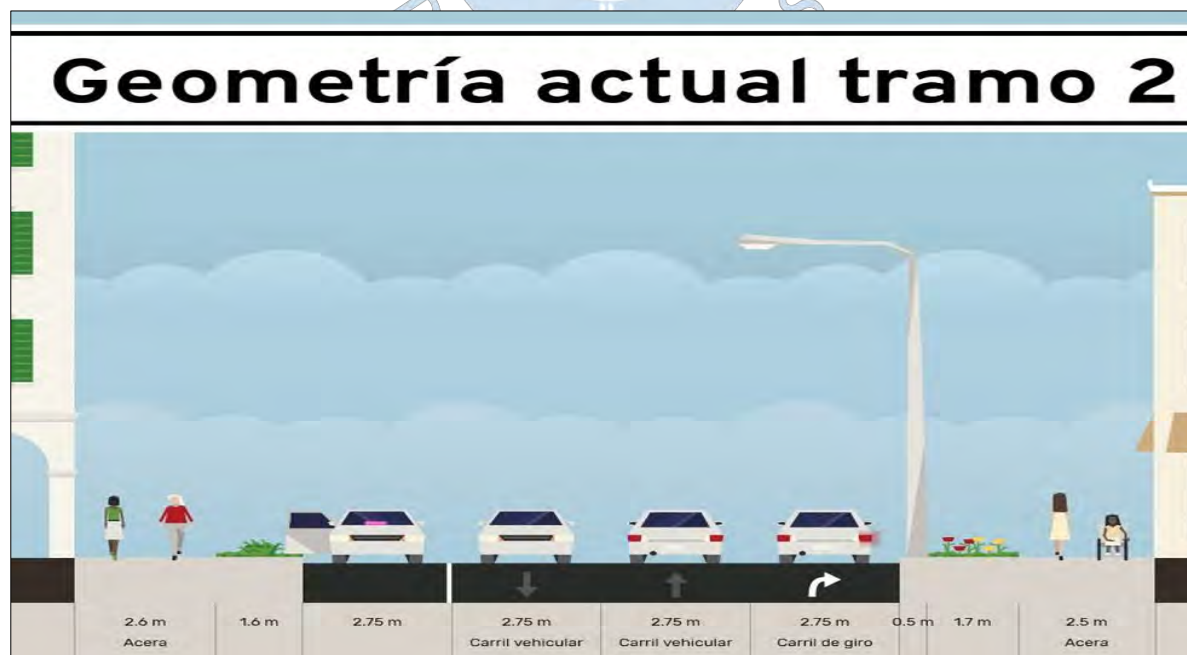
Extensión de tramo 2



Nota: Elaboración propia, adaptado de Google Earth

Figura 36

Dimensiones de sección transversal 02



3.2.3 Aforo vehicular y flujogramas por intersección

Las grabaciones se realizaron con un celular en zonas estratégicas desde donde es visible todos los accesos de la intersección respectiva. En la Av. Grau – Av. Vice, se grabó desde Botica Felicidad, en la Av. Grau – Av. Gulman se grabó desde el segundo piso de un negocio de venta de motos, y en la Av. Grau – Av. San Martín se grabó desde la parroquia Santísimo Sacramento. En la Figura 37, Figura 38 y Figura 39 se muestran las vistas de las intersecciones en estudio, respectivamente.

Figura 37

Vista de la intersección Av. Grau – Av. Vice



Figura 38

Vista de la intersección Av. Grau – Av. Gulman



Figura 39

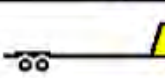
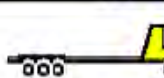
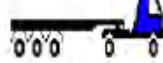
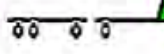
Vista de la intersección Av. Grau – Av. San Martín



Para el conteo vehicular se tuvo en cuenta la clasificación de vehículos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones como se muestra en la Figura 40.

Figura 40

Clasificación de vehículos según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones

AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS	
		PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	≥3 E
							 
CAMION							
2 E			3 E			4 E	
							
SEMI TRAYLER							
2S1/2S2		2S3		3S1/3S2		≥3 S3	
 				 			
TRAYLER							
2T2		2T3		3T2		3T3	
							

Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Después de realizar el conteo vehicular, se realizó los flujogramas para representar gráficamente los volúmenes de tránsito que transitan por cada acceso de una intersección durante un periodo determinado de tiempo. Se identificaron los cuatro accesos con los que cuentan las intersecciones y los movimientos permitidos dentro de cada acceso durante la hora determinada (11 a.m. a 12 p.m.) de los tres días del estudio (lunes 14, viernes 18 y sábado 19 de noviembre de 2022). Después, se sumaron los movimientos existentes en cada acceso de cada tipo de vehículo dentro de la hora determinada. Finalmente se hizo una conversión a unidad de vehículos equivalentes (UVE), multiplicando por factores de conversión (Ver Tabla 11), para poder así poder tener todo el flujo en unidad de auto.

Tabla 11*Factores de conversión a unidades de vehículos equivalentes*

Tipo de Vehículo	UVE
Camiones, tráiler y semitráiler	4.00
Bus (2 y 3 ejes)	3.00
Micro	2.00
Combi rural	1.50
Pick up, Station wagon, auto	1.00
Mototaxis	0.33
Moto lineal	0.20

Nota: Estudio de tráfico "Mejoramiento del servicio de movilidad urbana de la avenida Grau y su prolongación de los distritos de Piura y Veintiséis de octubre, provincia y departamento de Piura".



- Intersección de la Av. Grau – Av. Vice

En la Tabla 12, se muestra el volumen de vehículos físicos en la hora de máxima demanda en la intersección de Av. Grau – Av. Vice. Estos datos corresponden al día con mayor volumen vehicular, el sábado 19 de noviembre de 2022.

Tabla 12

Vehículos físicos contabilizados en la Av. Grau - Av. Vice

VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - VEHÍCULOS CONTABILIZADOS													
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. Vice							CIUDAD:		PIURA		
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM							FECHA:		19/11/2022		
VEHÍCULOS FÍSICOS	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA PICK UP	COMBI	MICRO	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO
	OESTE	O-S	2	31	29	25	4	10			1		102
		O-E	14	331	285	287	48	108	5	18	6	4	1106
		O-N	4	94	83	80	14	31			2	1	309
	SUR	S-E	1	44	31	48	2	5				2	133
		S-N	11	304	213	331	9	37				6	911
		S-O	1	38	26	41	1	4	1			1	113
	ESTE	E-N	4	109	96	93	16	37			2	1	358
		E-O	16	371	318	312	53	113	10	12	7	5	1217
		E-S	2	19	17	15	3	6				1	63
	NORTE	N-O	5	99	54	56	18	26	7		1	1	267
		N-S	20	371	205	211	68	121	3		2	2	1003
		N-E	4	75	39	42	15	20	5			1	201
	VOLUMEN EN HORA CRÍTICA		84	1886	1396	1541	251	518	31	30	21	25	5783

En la Tabla 13, se muestra el volumen de vehículos equivalentes en la hora de máxima demanda en la intersección de Av. Grau – Av. Vice. Estos datos corresponden al día con mayor volumen vehicular, el sábado 19 de noviembre de 2022.

Tabla 13

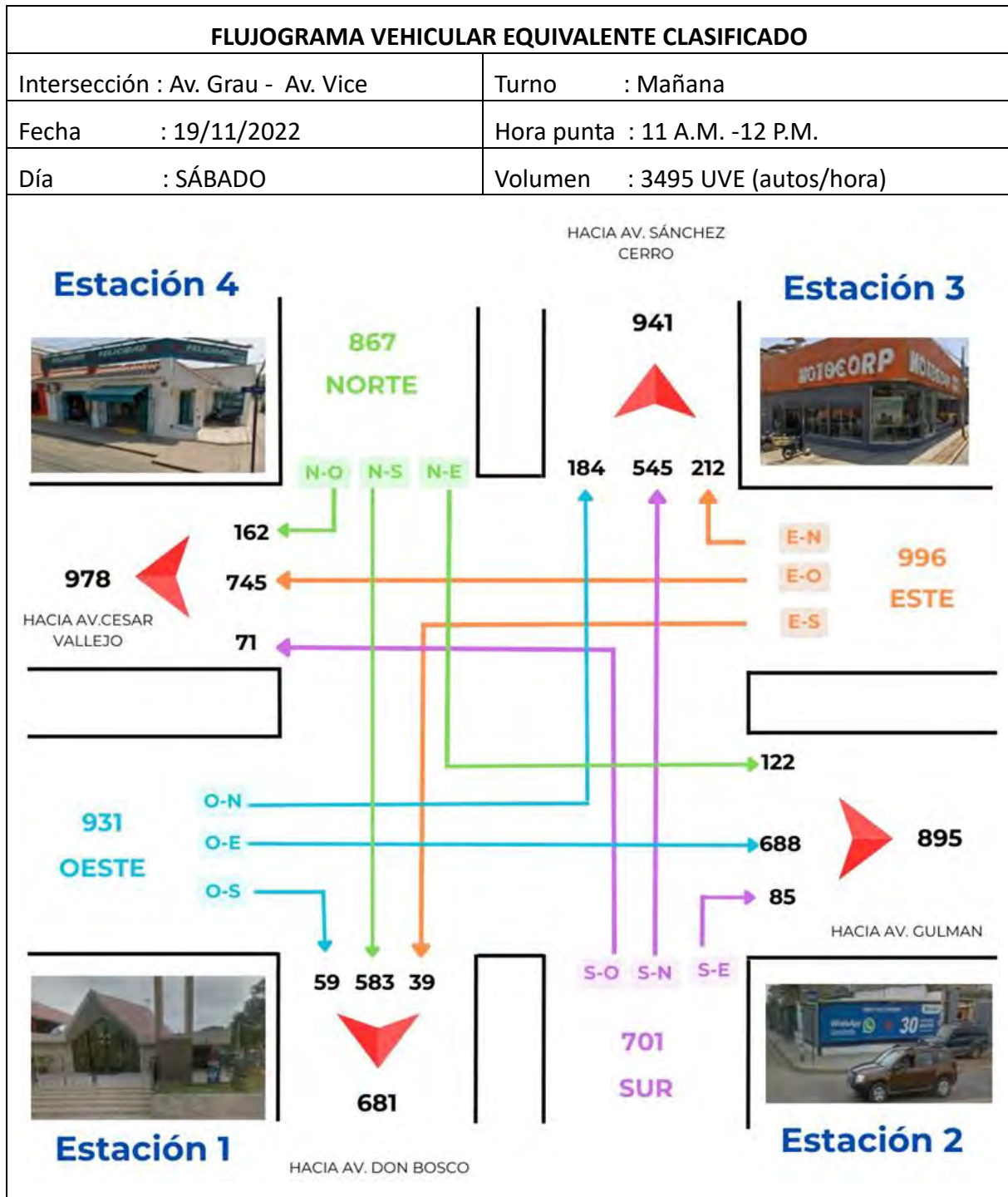
Vehículos equivalentes en la Av. Grau - Av. Vice

VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - UVE															
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. Vice							CIUDAD:		PIURA				
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM							FECHA:		19/11/2022				
VEHÍCULOS EQUIVALENTES	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		MICRO	BUS	CAMIÓN	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO	
				0.33	0.2	1	1	PICK UP	COMBI		2E - 3E	2E - 3E			
	OESTE	O-S		11	6	25	4	10				3		59	931
		O-E		110	57	287	48	108	8	36	18	16	688		
		O-N		32	17	80	14	31			6	4	184		
	SUR	S-E		15	7	48	2	5					8	85	701
		S-N		101	43	331	9	37					24	545	
		S-O		13	6	41	1	4	2			4	71		
	ESTE	E-N		36	20	93	16	37			6	4	212	996	
		E-O		123	64	312	53	113	15	24	21	20	745		
		E-S		7	4	15	3	6				4	39		
	NORTE	N-O		33	11	56	18	26	11		3	4	162	867	
		N-S		123	41	211	68	121	5		6	8	583		
		N-E		25	8	42	15	20	8			4	122		
VOLUMEN EN HORA CRÍTICA			629	284	1541	251	518	49	60	63	100	3495	3495		

A continuación, en la Figura 41, se presenta el flujograma vehicular equivalente clasificado del día sábado 19 de noviembre de 2022, día con mayor volumen vehicular en la intersección de Av. Grau – Av. Vice.

Figura 41

Flujograma vehicular equivalente Av. Grau - Av. Vice



- Intersección de la Av. Grau – Av. Gulman

En la Tabla 14, se muestra el volumen de vehículos físicos en la hora de máxima demanda en la intersección de Av. Grau – Av. Gulman. Estos datos corresponden al día con mayor volumen vehicular, el sábado 19 de noviembre de 2022.

Tabla 14

Vehículos físicos contabilizados en la Av. Grau - Av. Gulman

VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - VEHÍCULOS CONTABILIZADOS													
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. Gulman							CIUDAD:		PIURA		
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM							FECHA:		19/11/2022		
VEHÍCULOS FÍSICOS	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA PICK UP	COMBI	MICRO	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO
	OESTE	O-S	3	62	52	53	9	9	11		1	1	201
		O-E	13	319	288	279	41	103	6	15	6	4	1074
		O-N	1	16	12	15	2	3	1			1	51
	SUR	S-E	1	79	41	64	1	8	3		1	1	199
		S-N	7	318	164	263	3	17	21	13	2	5	813
		S-O	2	95	51	77	1	10	3		1	1	241
	ESTE	E-N	1	28	42	55		7	2			1	136
		E-O	6	226	346	442	3	57	15	18		10	1123
		E-S		14	22	29	2	5				1	73
	NORTE	N-O	5	139	121	118	21	45	1		3	2	455
		N-S	14	339	287	294	49	104	10	14	6	4	1121
		N-E	5	118	104	101	17	38	2		2	1	388
	VOLUMEN EN HORA CRÍTICA		58	1753	1530	1790	149	406	75	60	22	32	5875

En la Tabla 15, se muestra el volumen de vehículos equivalentes en la hora de máxima demanda en la intersección de Av. Grau – Av. Gulman. Estos datos corresponden al día con mayor volumen vehicular, el sábado 19 de noviembre de 2022.

Tabla 15

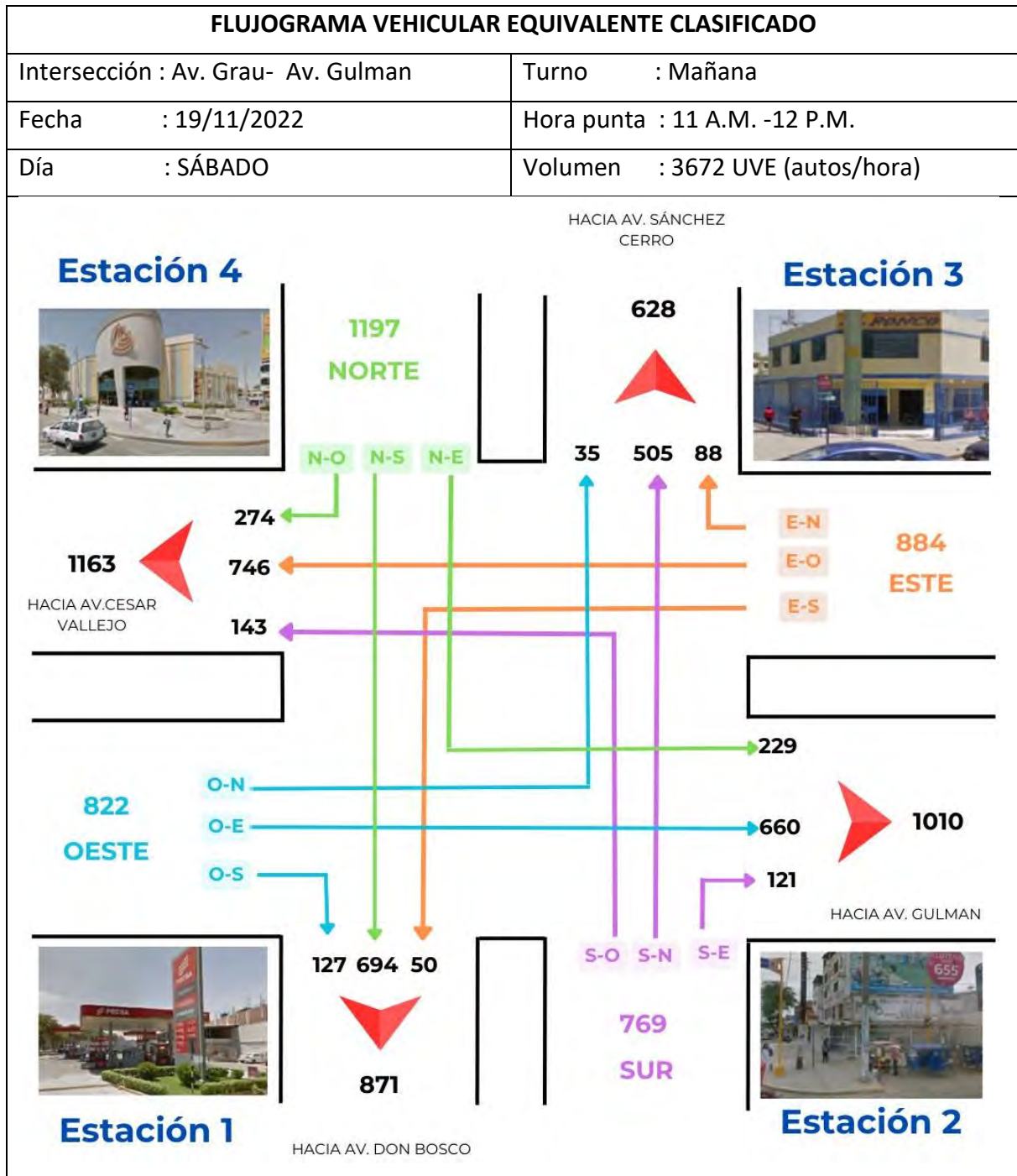
Vehículos equivalentes en la Av. Grau - Av. Gulman

VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - UVE														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. Gulman								CIUDAD:		PIURA		
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM								FECHA:		19/11/2022		
VEHÍCULOS EQUIVALENTES	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		MICRO	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO
				0.33	0.2	1	1	1	1.5	2	3	4		
	OESTE	O-S		21	11	53	9	9	17		3	4	127	822
		O-E		106	58	279	41	103	9	30	18	16	660	
		O-N		6	3	15	2	3	2			4	35	
	SUR	S-E		27	9	64	1	8	5		3	4	121	769
		S-N		105	33	263	3	17	32	26	6	20	505	
		S-O		32	11	77	1	10	5		3	4	143	
	ESTE	E-N		10	9	55		7	3			4	88	884
		E-O		75	70	442	3	57	23	36		40	746	
		E-S		5	5	29	2	5				4	50	
	NORTE	N-O		46	25	118	21	45	2		9	8	274	1197
		N-S		112	58	294	49	104	15	28	18	16	694	
		N-E		39	21	101	17	38	3		6	4	229	
VOLUMEN EN HORA CRÍTICA			584	313	1790	149	406	116	120	66	128	3672	3672	

A continuación, en la Figura 42, se presenta el flujograma vehicular equivalente clasificado del sábado 19 de noviembre de 2022, día con mayor volumen vehicular en la intersección de Av. Grau – Av. Gulman.

Figura 42

Flujograma vehicular equivalente Av. Grau - Av. Gulman



- Intersección de la Av. Grau – Av. San Martín

En la Tabla 16, se muestra el volumen de vehículos físicos en la hora de máxima demanda en la intersección de Av. Grau – Av. San Martín. Estos datos corresponden al día con mayor volumen vehicular, el sábado 19 de noviembre de 2022.

Tabla 16

Vehículos físicos contabilizados en la Av. Grau - Av. San Martín

VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - VEHÍCULOS CONTABILIZADOS														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. San Martín							CIUDAD:		PIURA			
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM							FECHA:		19/11/2022			
VEHÍCULOS FÍSICOS	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA PICK UP	COMBI	MICRO	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO
	OESTE	O-S	3	61	56	51	9	13	8		1	1	203	1334
		O-E	14	346	286	298	49	106	9	13	6	4	1131	
	SUR	S-E	3	135	133	158	3	27	7		1	2	469	1052
		S-O	4	165	168	196	4	32	11		1	2	583	
	ESTE	E-O	5	184	285	365	3	43	16	15		8	924	1014
		E-S		18	28	36	1	4	2			1	90	
	NORTE	N-O	2	109	48	52	2	10	1			1	225	710
		N-S	4	171	76	82	2	15	3			2	355	
		N-E	1	63	28	30	1	2	4			1	130	
	VOLUMEN EN HORA CRÍTICA		36	1252	1108	1268	74	252	61	28	9	22	4110	

En la Tabla 17, se muestra el volumen de vehículos equivalentes en la hora de máxima demanda en la intersección de Av. Grau – Av. San Martín. Estos datos corresponden al día con mayor volumen vehicular, el sábado 19 de noviembre de 2022.

Tabla 17

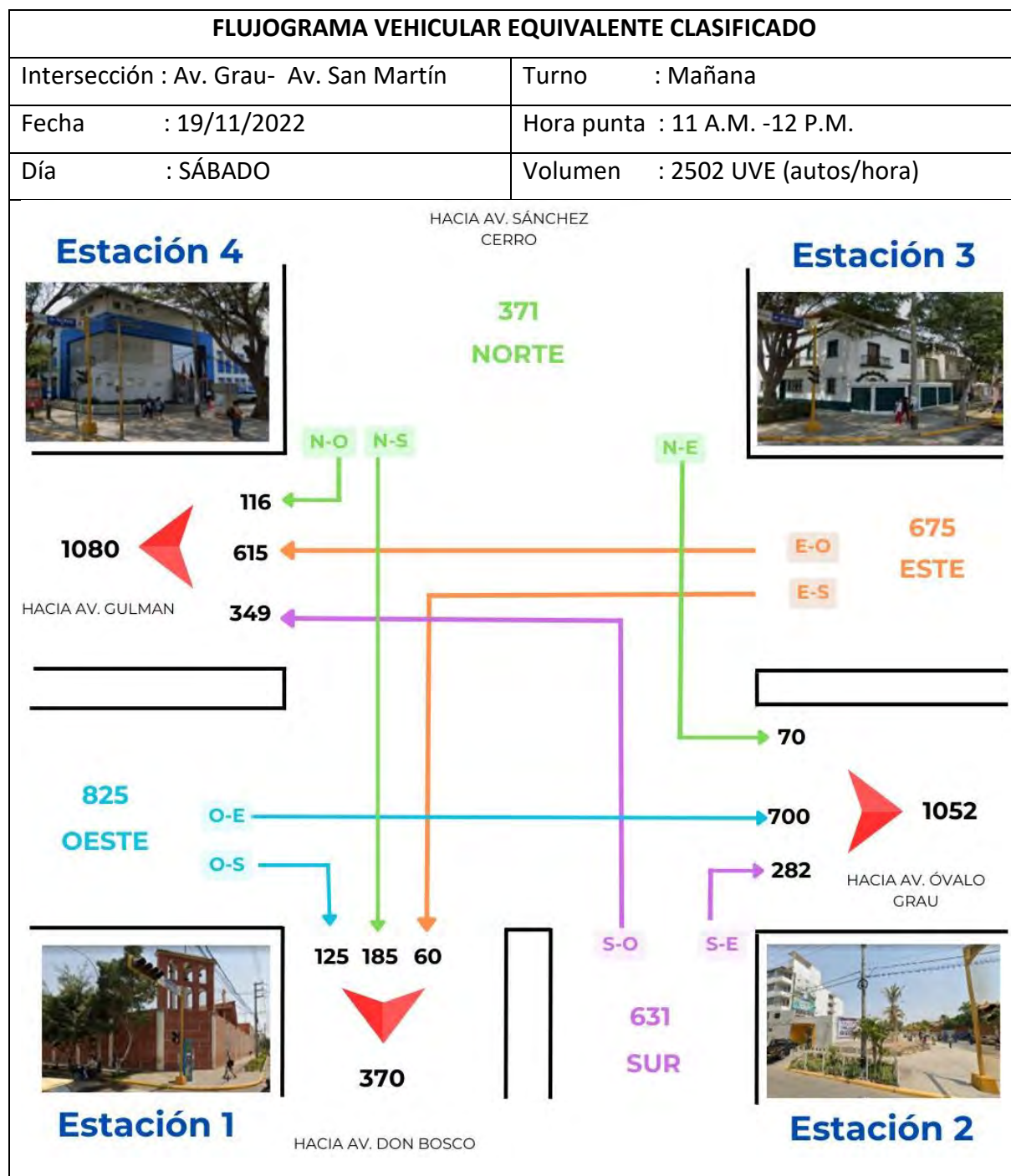
Vehículos equivalentes en la Av. Grau - Av. San Martín

VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - UVE														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. San Martín								CIUDAD:		PIURA		
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM								FECHA:		19/11/2022		
VEHÍCULOS EQUIVALENTES	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA PICK UP	COMBI	MICRO	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO
				0.33	0.2	1	1	1	1.5	2	3	4		
	OESTE	O-S		21	12	51	9	13	12		3	4	125	825
		O-E		115	58	298	49	106	14	26	18	16	700	
	SUR	S-E		45	27	158	3	27	11		3	8	282	631
		S-O		55	34	196	4	32	17		3	8	349	
	ESTE	E-O		61	57	365	3	43	24	30		32	615	675
		E-S		6	6	36	1	4	3			4	60	
	NORTE	N-O		36	10	52	2	10	2			4	116	371
		N-S		57	16	82	2	15	5			8	185	
		N-E		21	6	30	1	2	6			4	70	
VOLUMEN EN HORA CRÍTICA				417	226	1268	74	252	94	56	27	88	2502	2502

A continuación, en la Figura 43, se presenta el flujograma vehicular equivalente clasificado del sábado 19 de noviembre de 2022, día con mayor volumen vehicular en la intersección de Av. Grau – Av. San Martín.

Figura 43

Flujograma vehicular equivalente Av. Grau - Av. San Martín



3.2.4 Repartición modal de vehículos

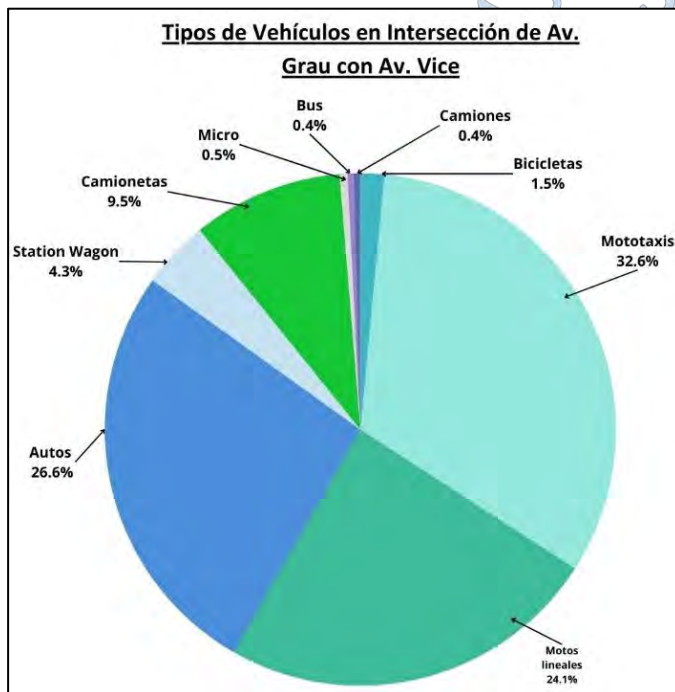
Con base en los resultados obtenidos del aforo vehicular, se ha realizado un análisis porcentual de los tipos de vehículos que circulan a lo largo de la zona de estudio, agrupándose además en tres grupos según el tipo de transporte: transporte privado, transporte público y transporte pesado. Dicho análisis se ha realizado en las tres intersecciones estudiadas:

- Intersección Av. Grau - Av. Vice

En la Figura 44, se observa el porcentaje según tipo de vehículos que circula por esta intersección en hora crítica, existiendo una alta participación de mototaxis (32.6%), motos lineales (24.1%) y autos (26.6%).

Figura 44

Tipos de vehículos en Av. Grau - Av. Vice

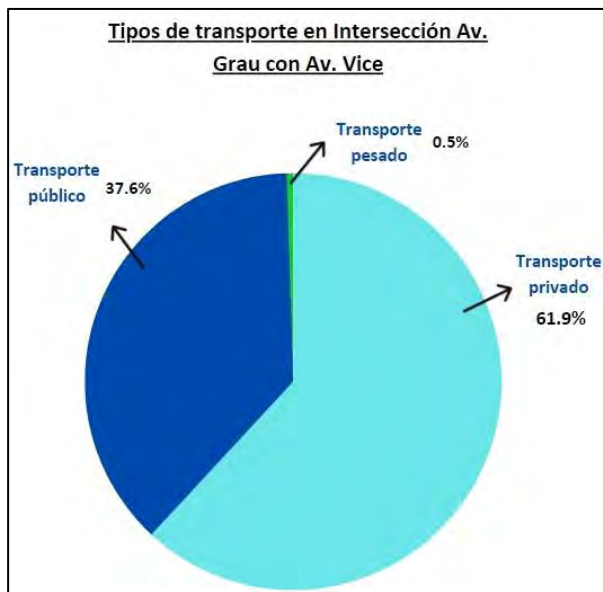


Por otro lado, en la

Figura 45 se muestra el porcentaje según el tipo de transporte que circula por esta intersección en hora crítica, siendo el transporte privado el predominante en la vía con un 61.90%, en contraste con el transporte público con 37.60%.

Figura 45

Tipos de transporte en Av. Grau - Av. Vice

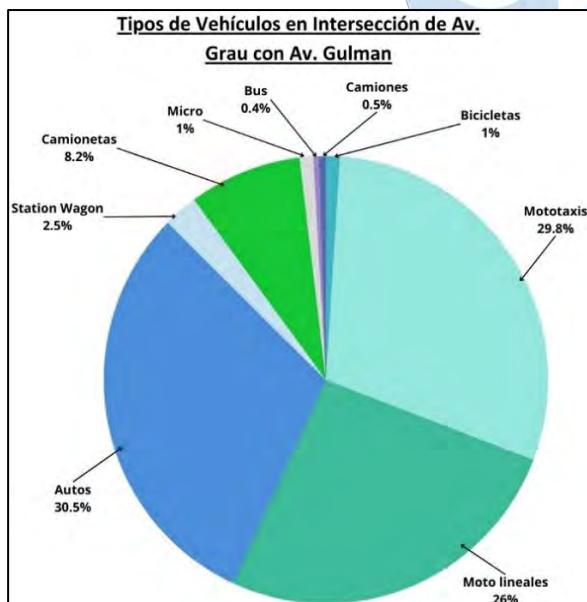


- Intersección Av. Grau con Av. Gulman

En la Figura 46, al igual que en la intersección anterior, se observa que el porcentaje según tipo de vehículos que circula en hora crítica por la Av. Grau – Av. Gulman evidencia una alta participación de mototaxis (29.8%), motos lineales (26.0%) y autos (30.5%).

Figura 46

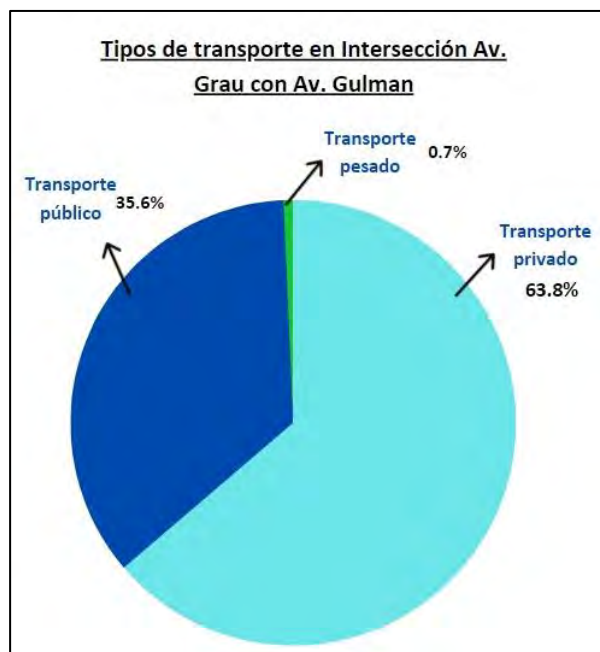
Tipos de vehículos en Av. Grau - Av. Gulman



En la Figura 47, se observa el porcentaje según el tipo de transporte que circula por esta intersección en hora crítica, siendo también el predominante el transporte privado con un 63.8%; por el contrario, el transporte público representa el 35.6%.

Figura 47

Tipos de transporte en Av. Grau - Av. Gulman

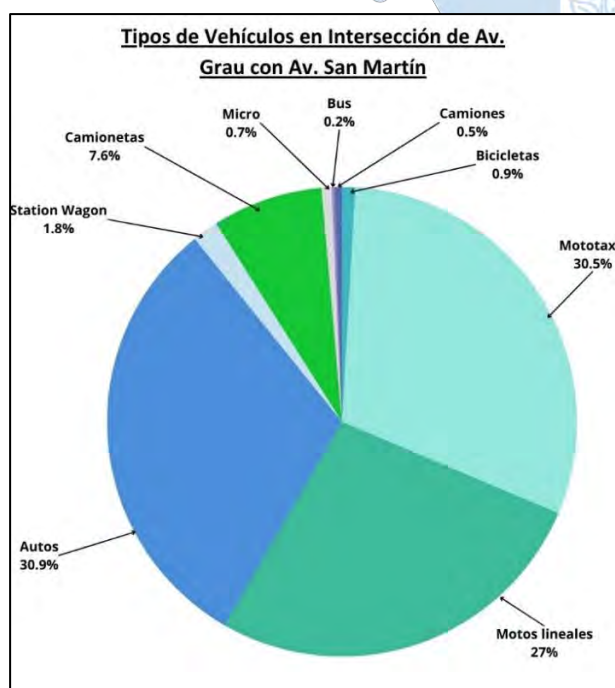


- Intersección Av. Grau con Av. San Martín

En la Figura 48, se muestra el porcentaje según tipo de vehículos en hora crítica en Av. Grau – Av. San Martín, observándose que los mototaxis (30.5%), motos lineales (27.0%) y autos (30.9%) tienen mayor incidencia en esta zona.

Figura 48

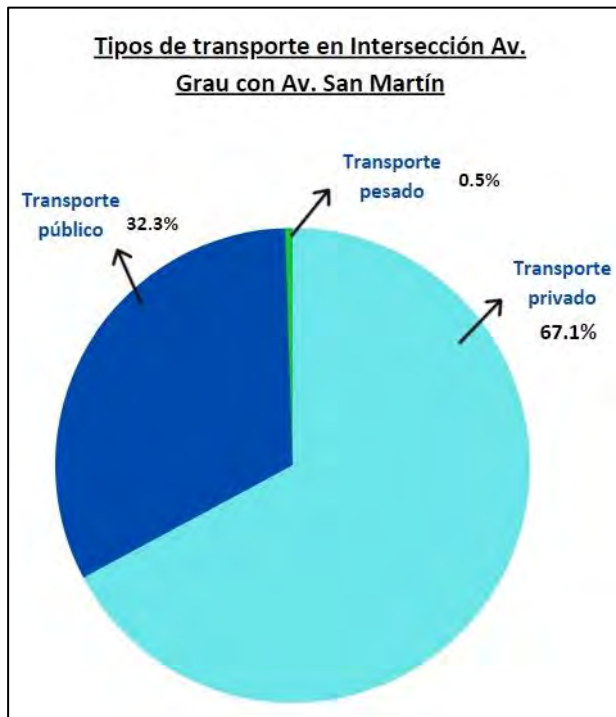
Tipos de vehículos en Av. Grau - Av. San Martín



De igual manera, en la Figura 49 se observa el porcentaje según el tipo de transporte que circula por esta intersección en hora crítica, evidenciándose nuevamente la preferencia hacia el transporte privado con un 67.1% sobre el transporte público con un 32.3%.

Figura 49

Tipos de transporte en Av. Grau - Av. San Martín



El análisis modal en cada una de las intersecciones evidencia la problemática actual de la zona de estudio: La mayoría de los usuarios no encuentra atractivo el transporte público, optando por trasladarse en autos particulares, taxis, mototaxis y motos lineales, lo cual ocasiona la saturación de la capacidad de la vía.

3.2.5 Ciclos semafóricos

Se realizaron visitas a campo con el objetivo de poder determinar los ciclos semafóricos existentes en las intersecciones del tramo de estudio. Después, se ubicaron puntos estratégicos de visualización y con la ayuda de un cronómetro, se midieron manualmente los tiempos actuales del semáforo en todos los sentidos de cada intersección.

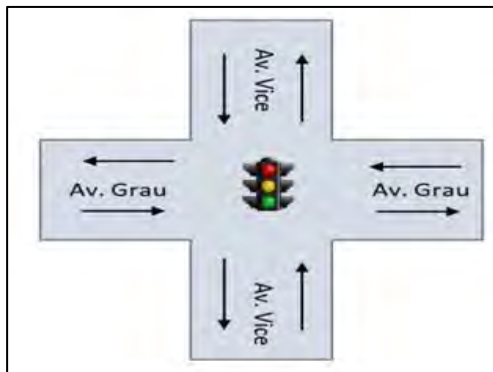
Para poder realizar la medición, se tomaron en cuenta los semáforos ubicados en las tres intersecciones claves dentro del tramo de estudio: Av. Vice, Av. Gulman y Av. San Martín.

- Intersección Av. Grau - Av. Vice

En la Figura 50 se puede observar un esquema de la intersección Av. Grau - Av. Vice. El semáforo se ubica en la parte central de la intersección.

Figura 50

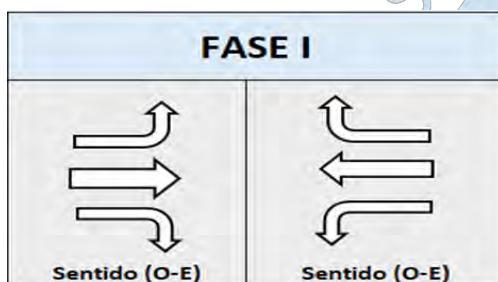
Esquema de la Av. Grau - Av. Vice



En la Figura 51, se muestra la primera fase del semáforo de esta intersección para el sentido Oeste-Este y Este-Oeste.

Figura 51

Diagrama del movimiento de fase I del semáforo de la Av. Grau - Av. Vice



Los tiempos de la Fase I se detallan en la Tabla 18

Tabla 18

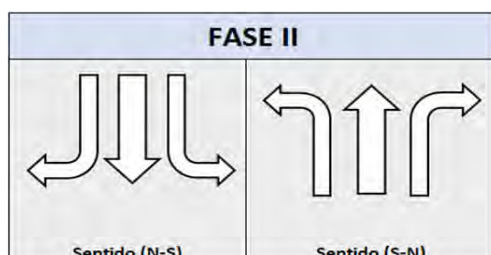
Tiempos semafóricos de fase I de la Av. Grau - Av. Vice

Tiempos semafóricos de fase I de Av. Grau - Av. Vice			
Verde	Ámbar	Todo Rojo	Rojo
34 segundos	3 segundos	3 segundos	33 segundos

En la Figura 52, se muestra la fase II del semáforo de esta intersección para el sentido Norte- Sur y Sur-Norte.

Figura 52

Diagrama del movimiento de fase II del semáforo de la Av. Grau - Av. Vice



Los tiempos de la Fase II se detallan en la Tabla 19.

Tabla 19

Tiempos semafóricos de fase II de la Av. Grau - Av. Vice

Tiempos semafóricos de fase II de Av. Grau - Av. Vice			
Verde	Ámbar	Todo Rojo	Rojo
27 segundos	3 segundos	3 segundos	40 segundos

A continuación, en la Figura 53, se presenta el diagrama del ciclo semafórico de la intersección Av. Grau – Av. Vice, el cual tiene un ciclo de 73 segundos.

Figura 53

Ciclo semafórico de la intersección Av. Grau - Av. Vice

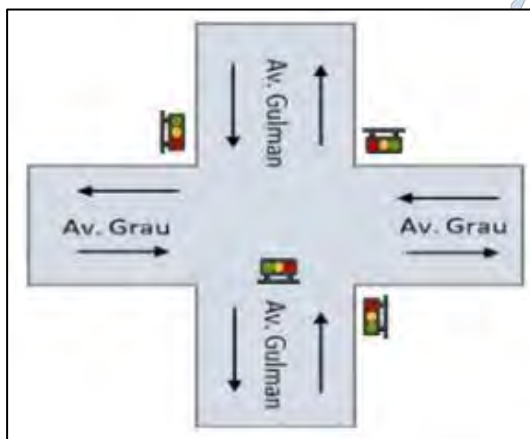


- Intersección Av. Grau - Av. Gulman

En la Figura 54 se observa un esquema de la intersección Av. Grau - Av. Gulman. Los semáforos se ubican en cada una de las cuatro esquinas de la intersección.

Figura 54

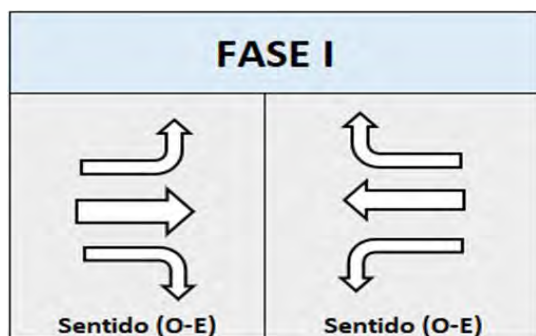
Esquema de la Av. Grau - Av. Gulman



En la Figura 55 se muestra la primera fase del semáforo de esta intersección para el sentido Oeste-Este y Este-Oeste.

Figura 55

Diagrama del movimiento de fase I del semáforo de la Av. Grau - Av. Gulman



Los tiempos de la Fase I se detallan en la Tabla 20.

Tabla 20

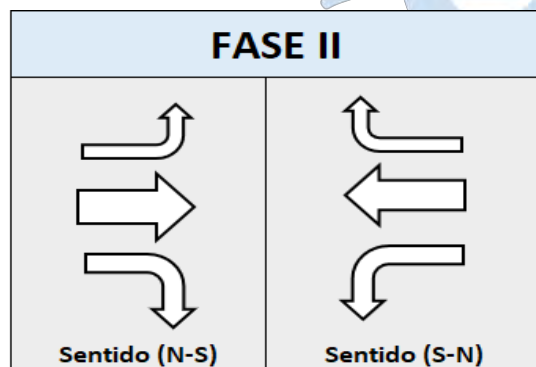
Tiempos semafóricos de fase I de la Av. Grau - Av. Gulman

Tiempos semafóricos de fase I de Av. Grau - Av. Gulman			
Verde	Ámbar	Todo Rojo	Rojo
40 segundos	3 segundos	4 segundos	40 segundos

En la Figura 56, se muestra la fase II del semáforo de esta intersección para el sentido Norte- Sur y Sur-Norte.

Figura 56

Diagrama del movimiento de fase II del semáforo de la Av. Grau - Av. Gulman



Los tiempos de la Fase II se detallan en la Tabla 21

Tabla 21

Tiempos semafóricos de fase II de la Av. Grau - Av. Gulman

Tiempos semafóricos de fase II de Av. Grau - Av. Gulman			
Verde	Ámbar	Todo Rojo	Rojo
33 segundos	3 segundos	4 segundos	47 segundos

A continuación, en la Figura 57, se presenta el diagrama del ciclo semafórico de la intersección Av. Grau – Av. Gulman, el cual tiene un ciclo de 87 segundos.

Figura 57

Ciclo semafórico de la intersección Av. Grau - Av. Gulman

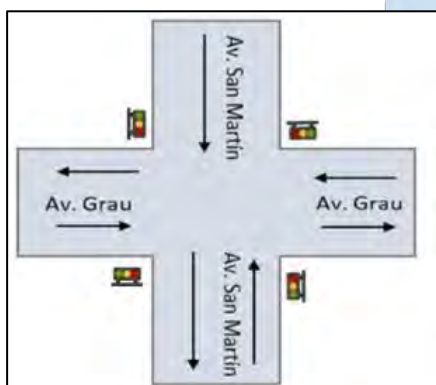


- Intersección Av. Grau - Av. San Martín

En la Figura 58 se observa un esquema de la intersección Av. Grau - Av. San Martín. Los semáforos se ubican en cada una de las cuatro esquinas de la intersección.

Figura 58

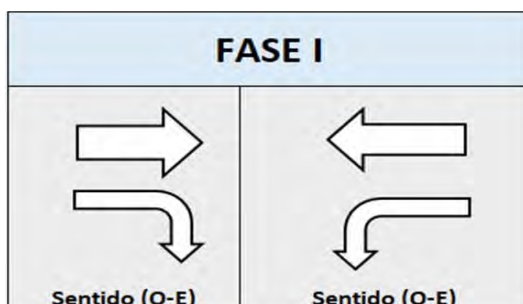
Esquema de la Av. Grau - Av. San Martín



En la Figura 59 se muestra la primera fase del semáforo de esta intersección para el sentido Oeste-Este y Este-Oeste.

Figura 59

Diagrama del movimiento de fase I del semáforo de la Av. Grau - Av. San Martín



Los tiempos de la Fase I se detallan en la Tabla 22

Tabla 22

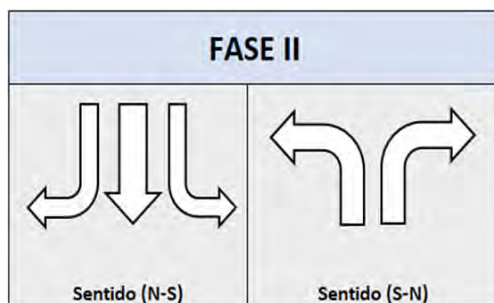
Tiempos semafóricos de fase I de la Av. Grau - Av. San Martín

Tiempos semafóricos de fase I de Av. Grau - Av. Gulman			
Verde	Ámbar	Todo Rojo	Rojo
26 segundos	4 segundos	2 segundos	48 segundos

En la Figura 60, se muestra la fase II del semáforo de esta intersección para el sentido Norte- Sur y Sur-Norte.

Figura 60

Diagrama del movimiento de fase II del semáforo de la Av. Grau - Av. San Martín



Los tiempos de la Fase II se detallan en la Tabla 23.

Tabla 23

Tiempos semafóricos de fase II de la Av. Grau - Av. San Martín

Tiempos semafóricos de fase II de Av. Grau - Av. Gulman			
Verde	Ámbar	Todo Rojo	Rojo
42 segundos	4 segundos	2 segundos	32 segundos

A continuación, en la Figura 61, se presenta el diagrama del ciclo semafórico de la intersección Av. Grau – Av. San Martín, el cual tiene un ciclo de 80 segundos.

Figura 61

Ciclo semafórico de la intersección Av. Grau - Av. San Martín



Capítulo 4

Diseño y evaluación de la propuesta con Vissim

4.1 Diseño del carril bus

Con el fin de evaluar el funcionamiento de un diseño vial que otorgue prioridad a los buses de transporte público en el tramo piloto seleccionado dentro de la Av. Grau, se ha planteado la implementación de carriles segregados exclusivos para estos vehículos al lado derecho de la vía en ambos sentidos.

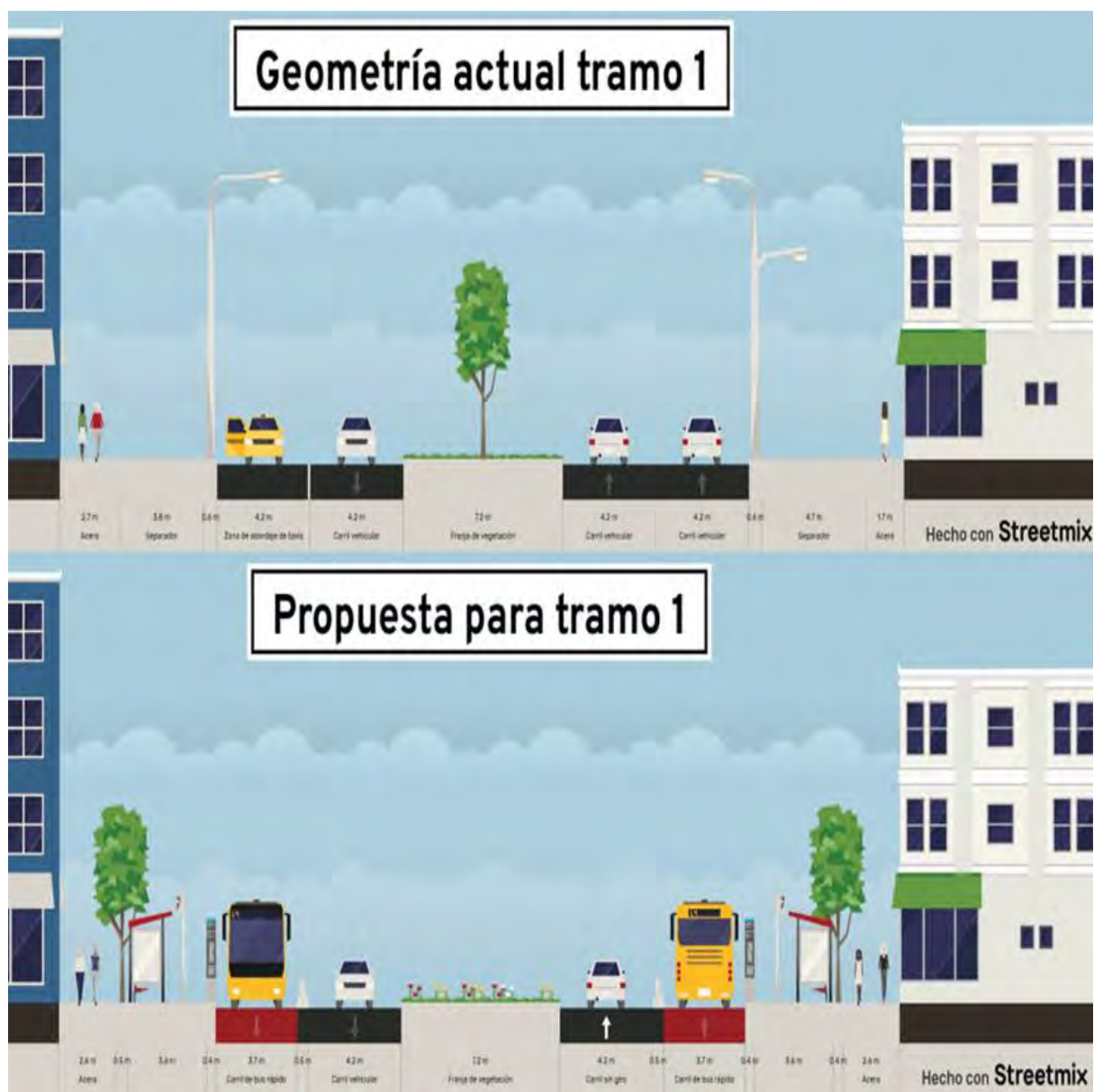
Es relevante mencionar que, de acuerdo con la Norma GH 020 Componentes De Diseño Urbano DS N° 006-2011 (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2011), establece que, el ancho mínimo para vías locales debe ser de mínimo 2.70 m. Considerando este criterio, se procedió a realizar las modificaciones en la geometría de ambas secciones transversales identificadas en el tramo piloto.

Como se mencionó previamente en el capítulo 3, el tramo de vía seleccionado para esta investigación presenta un cambio de geometría, por lo cual, ha sido subdividido en dos tramos. Se ha denominado como Geometría 1 al tramo desde la intersección con la Av. Vice hasta la intersección con la Av. Gulman, el cual cuenta con un separador central, dos carriles para la circulación de vehículos mixtos en cada sentido, y veredas a ambos lados de la calzada; y Geometría 2 al tramo comprendido desde la Av. Gulman hasta la intersección con la Av. San Martín, el cual consta de dos carriles mixtos en cada sentido, sin un separador central y veredas de menor amplitud que la sección transversal 1 en ambos lados de la calzada. A continuación, se detallan los tramos propuestos:

- Tramo 1 propuesto: Para la implementación de un carril bus se han realizado modificaciones. Estas incluyen la asignación de uno de los carriles mixtos para ser utilizado como carril bus, quedando el otro carril para la circulación del resto de vehículos. También se han instalado paraderos con refugio para los pasajeros y tótems informativos que proporcionan detalles sobre las rutas disponibles en el sistema. La Figura 62 ilustra la configuración actual de la sección 1 y la propuesta con las modificaciones mencionadas.

Figura 62

Propuesta de implementación de un carril bus en sección transversal 1



- Tramo 2 propuesto: Para la implementación del carril bus, se han realizado cambios en los carriles mixtos, destinando uno de ellos para ser utilizado como carril bus y dejando el otro para la circulación de vehículos mixtos. Además, se han instalado paraderos con refugio para los pasajeros y tótems informativos que proporcionan información sobre las rutas disponibles. La Figura 63 ilustra la configuración actual de la sección transversal 2 y la propuesta con las modificaciones mencionadas.

Figura 63

Propuesta de implementación de un carril bus en sección transversal 2



4.2 Ubicación y diseño de paraderos de transporte público

Se ha ubicado estratégicamente y se ha diseñado los paraderos de transporte público en el tramo de estudio tomando en cuenta los criterios mencionados en el año 2022 por la Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU), en su Guía de paraderos de los servicios de transporte regular del sistema integrado de transporte de Lima y Callao.

4.2.1 Ubicación de paraderos de transporte público

A nivel macroscópico, la distancia mínima recomendable entre paraderos según la guía debe de ser de 350 m para vías que no son autopistas, y de 450 m para autopistas; y que la distancia mínima mandatoria entre paraderos de una misma ruta debe ser de 300 m. La Resolución de Gerencia N°090- 2019-MML/GTU Evaluación e implementación de paraderos de transporte público de la Municipalidad Metropolitana de Lima aprobada el 10 de julio del 2019, especifica que la distancia entre paraderos está en función a la clasificación de la vía y al entorno de la ubicación del paradero. Ver Tabla 24.

Tabla 24

Consideraciones de distancia de paraderos

Categoría	Distancia entre paraderos (m)
Vías Expresas	400 - 500
Vías arteriales - Colectoras	300 - 500
Vías locales (1 carril)	250 - 500
Vías locales (2+ carriles)	200 - 400

Nota: Resolución de Gerencia N°090- 2019-MML/GTU

Se ha clasificado la Av. Grau según sus características, para así determinar la distancia recomendable entre paraderos. La Municipalidad Provincial de Piura (2014), en las secciones del Plano del Sistema Vial del Plan de Desarrollo Urbano de los Distritos de; Piura, Veintiséis de Octubre, Castilla y Catacaos al 2032, clasifica a la Av. Grau como una vía colectora “Su rol principal es de corredor de distribución entre la residencia y los centros de empleo y de servicios, y de repartición o captación hacia o desde la trama vial de nivel inferior”. Para este tipo de vías, la distancia recomendable entre paraderos es entre 300 a 500 m. El tramo de estudio de la Av. Grau cuenta con aproximadamente 1000 metros, por lo que le corresponde 3 paraderos por sentido, cada 300 metros aproximadamente. Así mismo, se ha considerado que la zona sea un área urbanizada, ubicando los paraderos lo más cerca posible a un pase peatonal y cerca a zonas que mueven una apreciable cantidad de viajes.

A nivel microscópico, se ha tenido en cuenta que la ubicación de los paraderos cumpla con las condiciones mínimas recomendadas de visibilidad de los vehículos que vienen desde aguas arriba de la cuadra y a la vez, de aquellos en las intersecciones próximas. Además, las posibles rutas de los peatones desde las zonas urbanas atractivas hacia los paraderos cuentan con dispositivos de control de tránsito que protegen los cruces peatonales y controlan la velocidad vehicular. Se ha tenido precaución de no ubicar los paraderos a menos de 10 m de los límites de propiedad de los grifos cercanos y, tomando en consideración las ventajas y desventajas de la Tabla 25 sobre la ubicación después o antes del cruce de la intersección, se ha decidido que los paraderos estén ubicados después del cruce de la intersección.

Tabla 25*Ventajas y desventajas en la localización de paraderos*

Localización	Ventajas	Desventajas
Después del cruce (DC)	• Reduce conflictos con vehículos que doblan a la derecha • Fomenta el cruce de peatones por detrás del bus.	• Puede generar colas de vehículos de transporte público que bloqueen la intersección precedente. • Puede reducir visibilidad de vehículos que ingresan a la cuadra. • Si las intersecciones alrededor son semaforizadas, genera doble detención del bus.
Antes del cruce (AC)	• Reduce probabilidad de bloqueo de intersección por colas vehiculares. • Acerca el acceso a los buses en el cruce peatonal. • Permite aprovechar la detención semafórica para el abordaje y desabordaje de pasajeros. • Reduce la probabilidad de doble detención del bus.	• Aumenta conflictos con vehículos que doblan a la derecha aguas abajo. • Si la intersección sucesora es regulada por prioridad, reduce la visibilidad de peatones que cruzan por delante del bus. • Si la intersección sucesora es regulada por prioridad, reduce la visibilidad de vehículos ingresando a la intersección.
Mitad de cuadra	• Permite mayor espacio de espera para usuarios.	• Fomenta el cruce imprudente a mitad de cuadra según las líneas de deseo peatonales. • Incrementa distancia de caminata de peatones y reduce la accesibilidad peatonal.

Nota: Adaptado de Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (2022)

Adicionalmente a los criterios mencionados, se ha tenido en cuenta las restricciones que pudieran presentar los establecimientos dentro de la cuadra, de acuerdo con sus características operativas, por ejemplo, el reglamento de seguridad para establecimientos de venta al público de combustible derivados de hidrocarburos, Art. 64, prohíbe que los paraderos se ubiquen a menos de 10 m de los límites de propiedad de los grifos. Además, según la Resolución de Gerencia N°090- 2019-MML/GTU, es recomendable ubicar los paraderos como mínimo a 10 m antes del cruce de una intersección y a 15 m mínimo después del cruce de una intersección.

4.2.1.1 Paraderos en la Av. Grau de recorrido de oeste a este. En la Figura 64 se muestran las ubicaciones de los paraderos en el sentido oeste a este del tramo de estudio, ubicadas después del cruce de la intersección.

Figura 64

Ubicación de paraderos en la Av. Grau. Recorrido de oeste a este



Nota: Elaboración propia, adaptado de Google Maps

- Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau – Jr. Las Lomas

Se ha elegido esta ubicación debido a que cerca se encuentra un centro educativo, una iglesia, un bazar grande, un gimnasio, además de tiendas de motos y otras tiendas comerciales. Existen cruces peatonales en la zona. Ver Figura 65

Figura 65

Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau – Jr. Las Lomas

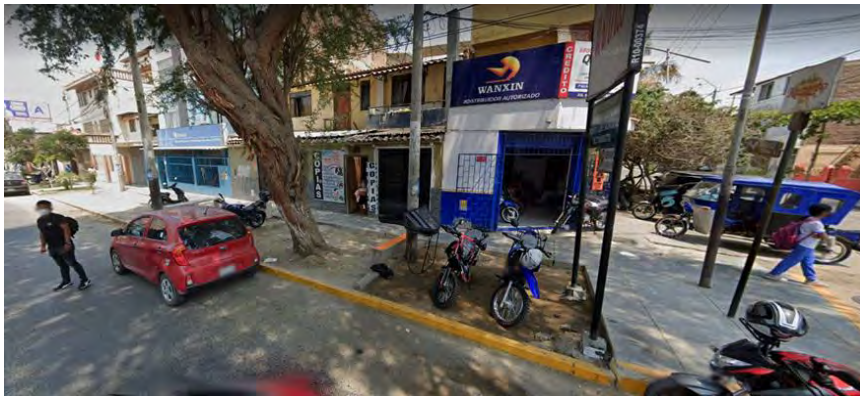


- Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau – Av. Gulman

Esta ubicación es elegida debido a que es una de las intersecciones más conocidas y transitadas de la ciudad de Piura. Aquí está el importante centro comercial Plaza del Sol, tiendas de motos y de repuestos, restaurantes, venta de comida rápida, farmacias y demás locales comerciales y de salud, lo que hace que esta sea una zona de bastante concentración tanto de transeúntes como de conductores. Esta intersección es semaforizada. Ver Figura 66.

Figura 66

Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau – Av. Gulman



- Paradero después del cruce de la intersección Av. Grau – Jr. Pedro de León

Esta es una intersección menos conocida en comparación con las anteriores mencionadas, sin embargo, se le está considerando porque se encuentra muy cerca de la iglesia Santísimo Sacramento, de la Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria (SUNAT), del Hospital Jorge Reategui Delgado, entre otros centros de salud y centros comerciales. Existen cruces peatonales en la zona. Ver Figura 67.

Figura 67

Paradero después del cruce de la intersección Av. Grau – Jr. Pedro de León



4.2.1.2 Paraderos en la Av. Grau de recorrido de este a oeste. En la Figura 68, se muestran las ubicaciones de los paraderos en el sentido este a oeste del tramo de estudio, ubicadas aguas arriba de la cuadra.

Figura 68

Ubicación de paraderos en la Av. Grau. Recorrido de este a oeste



Nota: Elaboración propia, adaptado de Google Maps

- Paradero después del cruce de la intersección Av. Grau - Av. San Martín

Esta es una intersección conocida y considerada como paradero porque aquí se encuentra la iglesia Santísimo Sacramento, la Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria (SUNAT), el Hospital Jorge Reategui Delgado, entre otros centros de salud. Existen cruces peatonales en la zona. Ver Figura 69.

Figura 69

Paradero después del cruce de la intersección Av. Grau - San Martín



- Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau – Jr. Tomas Dieguez

Esta ubicación es elegida debido a que una cuadra más adelante está la intersección Av. Grau – Av. Gulman, una de las intersecciones más conocidas y transitadas de la ciudad de Piura. Este paradero se ha ubicado a 25 metros del grifo PECSA. En esta zona se encuentra cerca el importante centro comercial Plaza del Sol, la tienda de motos Honda, el supermercado Maxi Ahorro, además de otros locales comerciales y de salud, lo que hace que esta sea una zona de bastante concentración tanto de transeúntes como de conductores. Existen cruces peatonales en la zona. Ver Figura 70.

Figura 70

Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau – Jr. Tomas Dieguez

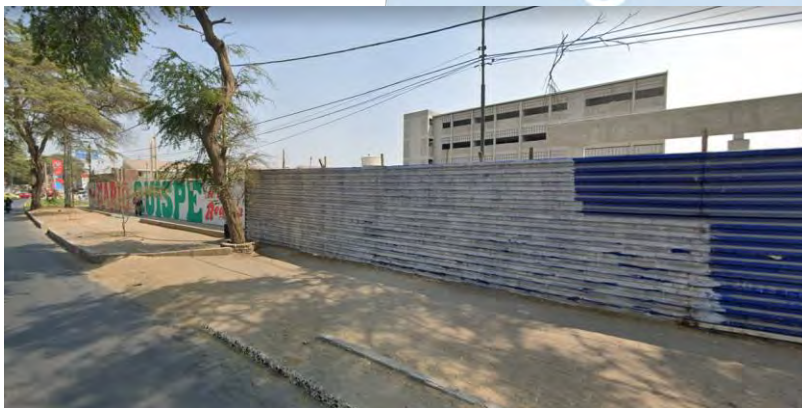


- Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau - Jr. Tomás Cortéz

Se ha elegido esta ubicación debido a que cerca se encuentra un centro educativo una iglesia, gimnasio, el Bazar Casa China, y otras tiendas comerciales. Ver Figura 71.

Figura 71

Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau - Jr. Tomás Cortéz



4.2.2 Diseño de paraderos de transporte público

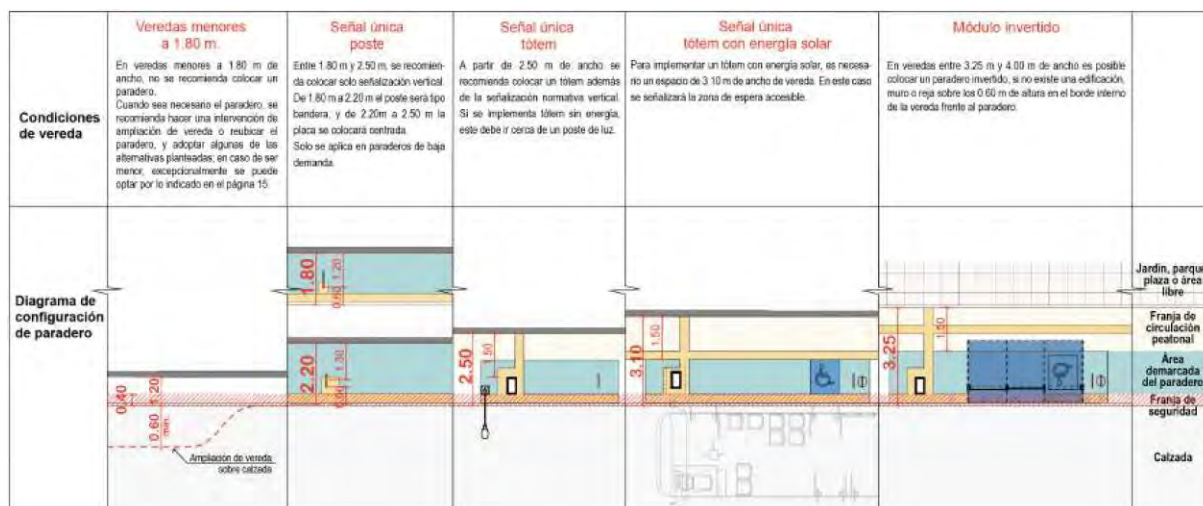
La correcta implementación de la infraestructura y demarcación de los paraderos de buses de transporte público en este proyecto, es esencial, pues mejora la eficiencia del servicio, garantizando la seguridad y orientación de los usuarios, y promoviendo a la vez la movilidad sostenible. Es primordial mantener informados a los usuarios sobre las rutas disponibles, los horarios de llegada y partida de los autobuses, y las tarifas aplicables, de esta forma los pasajeros pueden planificar sus desplazamientos y esto anima a nuevos usuarios a migrar hacia el transporte público al tener información completa sobre el servicio.

Los tipos de paraderos se definen según la demanda y capacidad requerida, lo cual debe contrastarse con el espacio disponible de vereda o separadores laterales. Con base en la

Guía de Paraderos de los Servicios de Transporte Regular del Sistema Integrado de Transporte Urbano para Lima y Callao, se ha determinado el tipo y la configuración de los paraderos a implementar en las ubicaciones elegidas de la zona de estudio. En la Figura 72, Figura 73 y Figura 74, se muestran los tipos de paraderos más apropiados para cada condición de vereda.

Figura 72

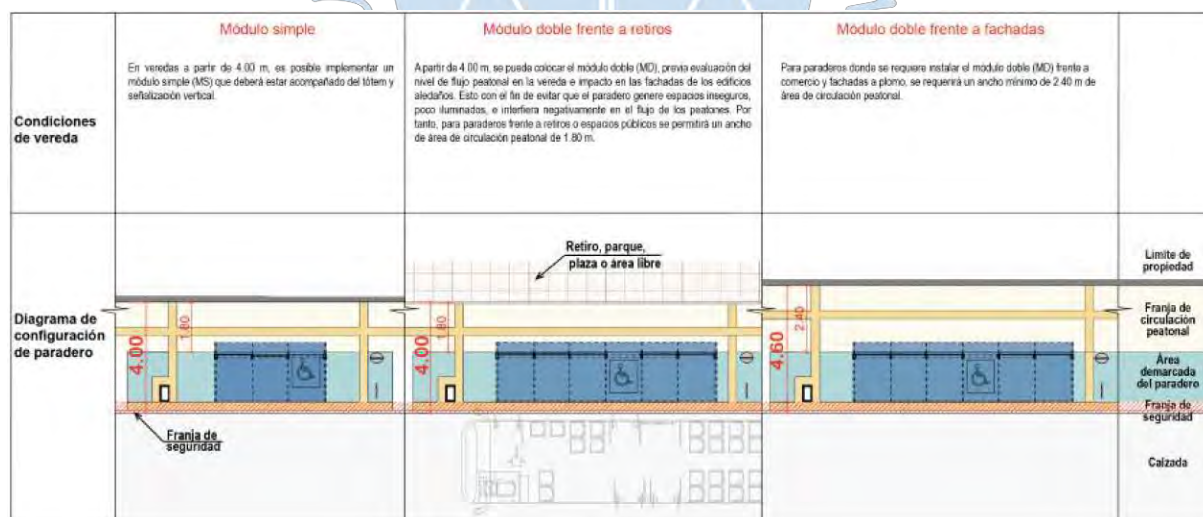
Dimensión de veredas y tipos de módulos (hasta 4 m)



Nota: Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (2022)

Figura 73

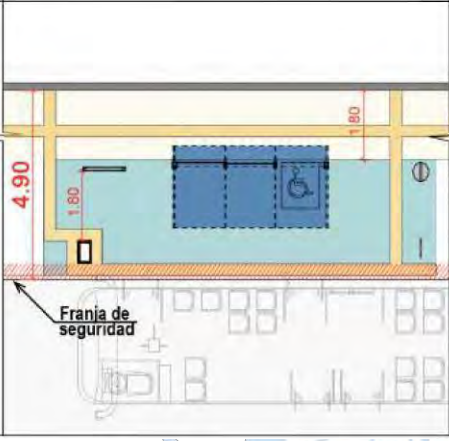
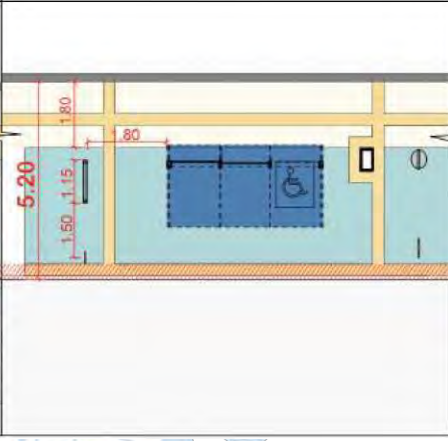
Dimensiones de veredas y tipos de módulos (de 4 m a más)



Nota: Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (2022)

Figura 74

Dimensiones de veredas para colocación de panel publicitario de piso

Condiciones de vereda	Módulo simple con publicidad paralela a la marquesina A partir de 4.90 m de ancho, es posible implementar un panel publicitario de piso en posición paralela al eje módulo del cual debe guardar una distancia de 1.20 m. Así mismo, debe existir una distancia entre el panel y el poste mínima de 1.50 m para permitir la circulación.	Módulo simple con publicidad transversal a la marquesina En caso la vereda sea de 5.20 m, es posible implementar un panel publicitario de piso en posición transversal al eje del módulo del cual debe guardar una distancia de 1.80 m. Por otro lado, es necesaria una distancia mínima de 1.80 m entre panel y tótem para permitir la circulación.	
Diagrama de configuración de paradero			Limite de propiedad Franja de circulación peatonal Área demarcada del paradero Franja de seguridad Calzada

Nota: Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (2022)

En campo se obtuvieron las medidas del ancho disponible, considerado desde el inicio de la vereda hasta el final del sardiné, los cuales son mostrados en la Tabla 26 y Tabla 27.

Tabla 26

Medidas de veredas sentido oeste – este en zona de paraderos a implementar

Ubicación de paradero sentido oeste – este	Ancho disponible
Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau – Jr. Las Lomas	7.00 m
Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau – Av. Gulman	4.66 m
Paradero después del cruce de la intersección Av. Grau – Jr. Pedro de León	4.60 m

Tabla 27*Medidas de veredas sentido este – oeste en zona de paraderos a implementar*

Ubicación de paradero sentido este - oeste	Ancho disponible
Paradero después del cruce de la intersección Av. Grau - Av. San Martín	4.70 m
Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau – Jr. Tomas Dieguez	2.50 m
Paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau - Jr. Tomás Cortéz	6.55 m

Según esta información, se ha elegido los siguientes tipos de paraderos:

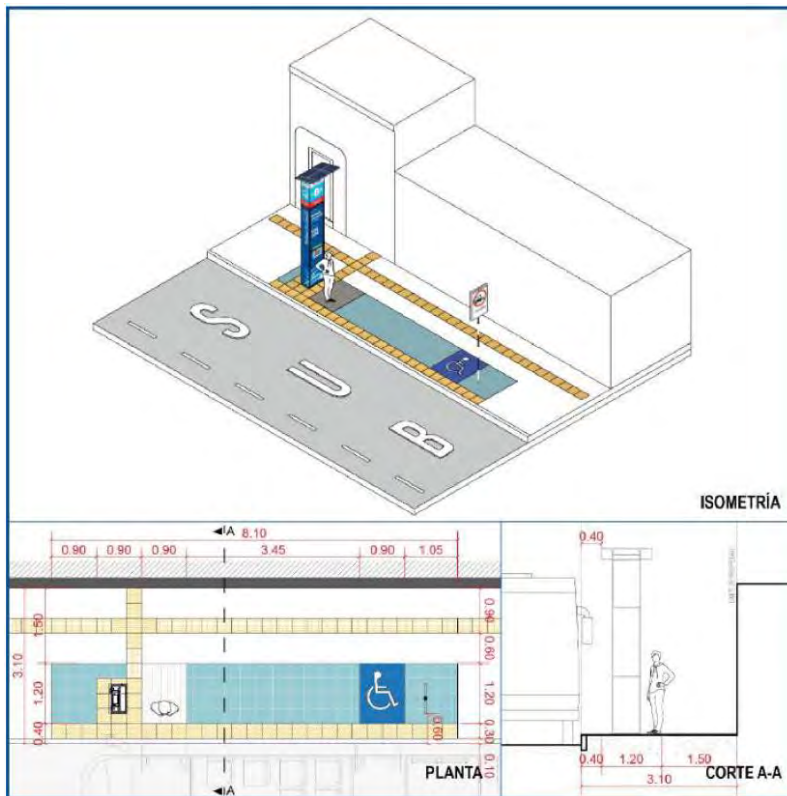
a) Paraderos de señal única (SU) tipo tótem para veredas de 2.50 m a 3.25 m

En veredas entre 2.50 m y 3.25 m de ancho es posible la instalación de un tótem en cualquiera de sus cuatro tipos: sin energía, con energía eléctrica, con panel solar o híbrido. Se ha considerado este tipo de paradero en el sentido este – oeste en el paradero después del cruce de la intersección de la Av. Grau – Jr. Tomas Dieguez.

El diseño de este paradero incluye una zona de espera para silla de ruedas, con una franja de circulación peatonal de 1.20 m como mínimo. Adicionalmente, se ha considerado una señal vertical normativa de acuerdo a las disposiciones de la entidad competente. Este tótem cuenta con información del sistema y con un braille para la orientación de personas con discapacidad visual. En el diseño a implementar, se considera que el tótem cuenta con energía eléctrica, por lo que se puede cargar aquí los celulares mientras se espera el bus, además de incluir un botón de pánico y un botón de audio. El tótem se ubica a una distancia de 0.40 m del borde de la vereda de forma perpendicular a esta para una mejor visualización e identificación por parte de los peatones. En la Figura 75, se muestra la vista en planta y un corte que indica las medidas que se consideraron para el diseño de este tipo de paradero.

Figura 75

Paradero de señal única con tótem solar o híbrido

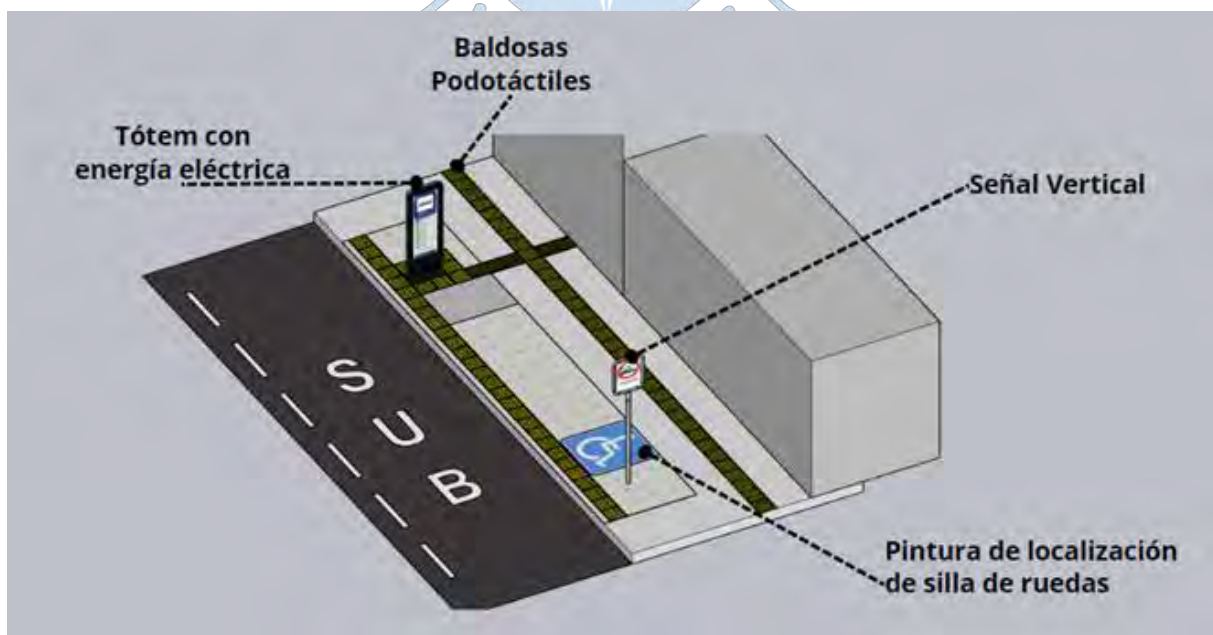


Nota: Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (2022)

Tomando como referencia la Figura 75, se desarrolló un modelo 3D en el software SketchUp, el cual se incluyó en la propuesta del presente estudio (Ver Figura 76).

Figura 76

Modelo 3D de paradero de señal única con tótem



b) Paradero tipo módulo simple (MS) para veredas de 4 m o mayores

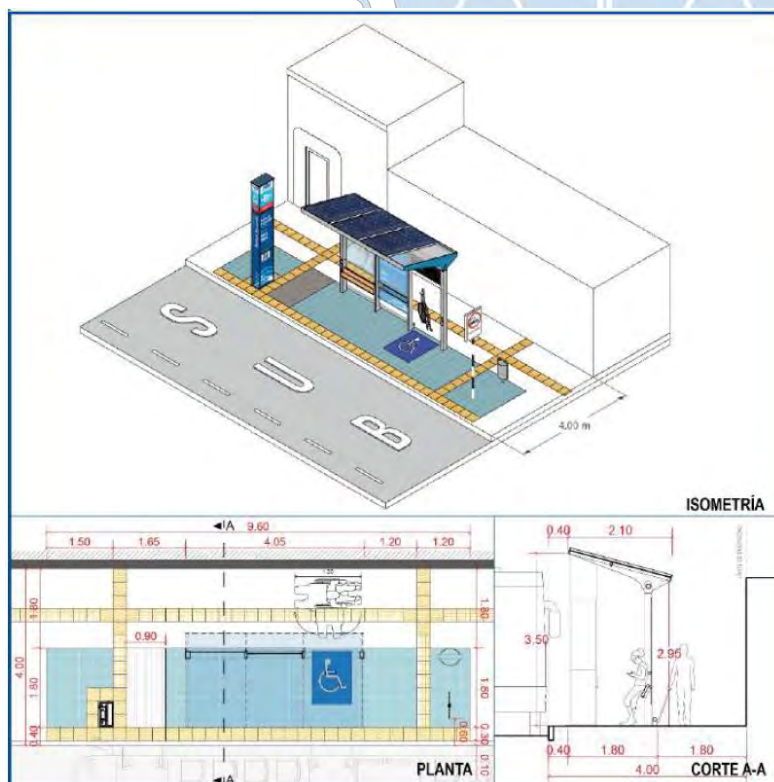
La marquesina del paradero de módulo simple es de 4.05 m de largo por 2.10 m de ancho. Este tipo de paraderos se implementó en las otras 5 ubicaciones: En el sentido oeste – este, después del cruce de las intersecciones Av. Grau – Av. Gulman y Av. Grau – Jr. Pedro de León; por otro lado, en el sentido este – oeste, después del cruce de las intersecciones Av. Grau - Av. San Martín, Av. Grau – Jr. Tomas Dieguez y Av. Grau - Jr. Tomás Cortéz.

Este tipo de paraderos alberga paneles solares en el techo, dotando de energía al mismo, y la cobertura tiene un voladizo frontal que no sobrepasa los 0.40 m desde la línea de proyección del borde de la vereda. Para las veredas se debe tener una franja de circulación peatonal mínima de 1.80 m por la parte posterior del módulo. Este módulo simple comprende una zona de espera señalizada para silla de ruedas, una zona de mobiliario con una banca, y un área destinada para brindar información acerca del sistema complementada con una placa braille. Se debe considerar un tótem de información ubicado a 0.40 m del borde de la vereda de forma perpendicular a esta para una mejor visualización e identificación por parte de los pasajeros, además de incluir un botón de pánico, cargador para celulares, botón de audio e iluminación del módulo. Es importante una señal vertical normativa y papeleros.

En la Figura 77, se muestra la vista en planta y un corte que indica las medidas que se consideraron para el diseño de este tipo de paradero.

Figura 77

Paradero de módulo simple



Nota: Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (2022)

Tomando como referencia la Figura 77, se desarrolló un modelo 3D en el software SketchUp, el cual se incluyó en la propuesta del presente estudio (Ver Figura 78)

Figura 78

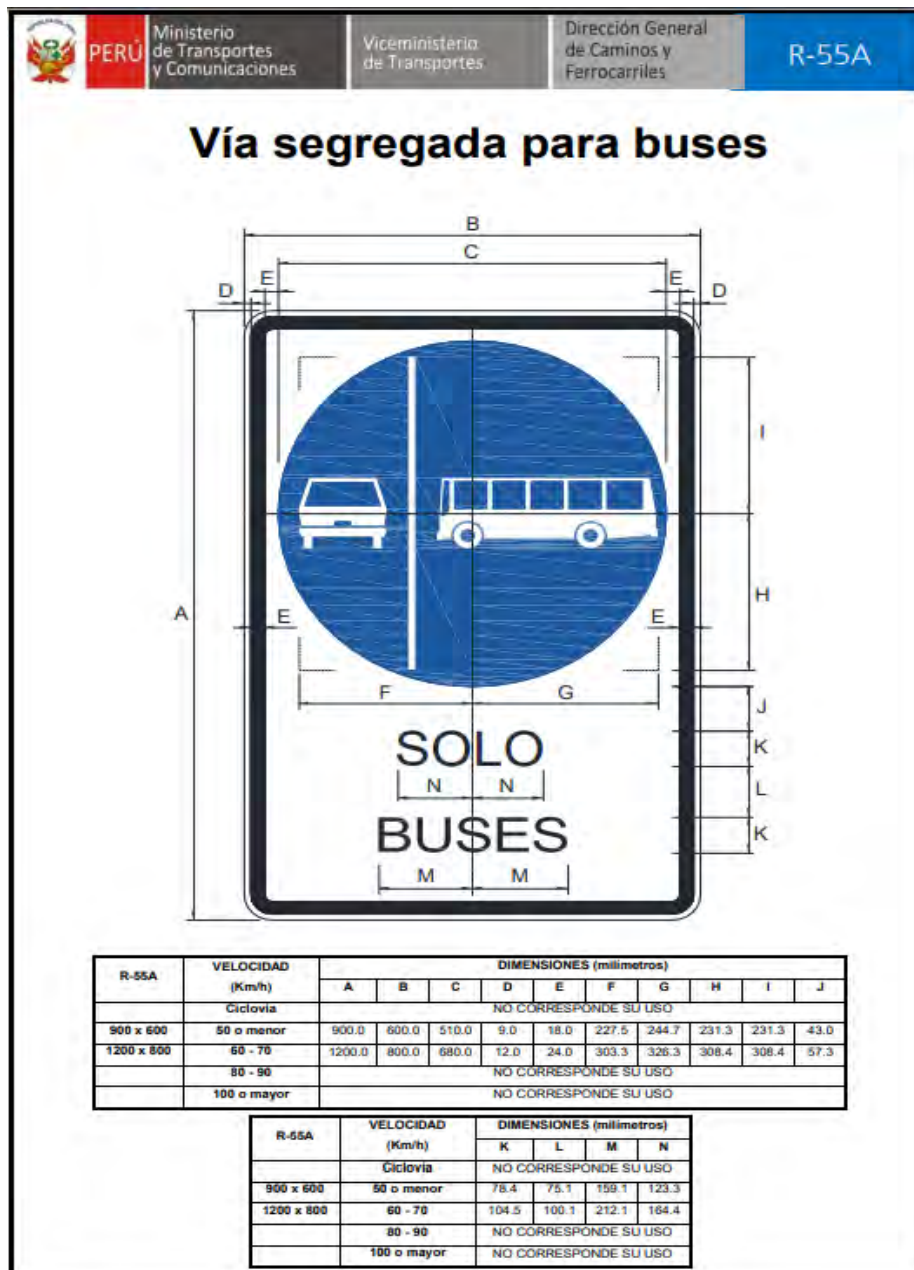
Modelo 3D de paradero tipo módulo simple (MS)



4.3 Señalización y demarcación del pavimento

Para la implementación del carril bus, es necesaria una correcta señalización vertical y horizontal en la vía, a fin de que se pueda informar a los usuarios mediante símbolos o palabras la existencia de este nuevo carril con prioridad para buses en la zona.

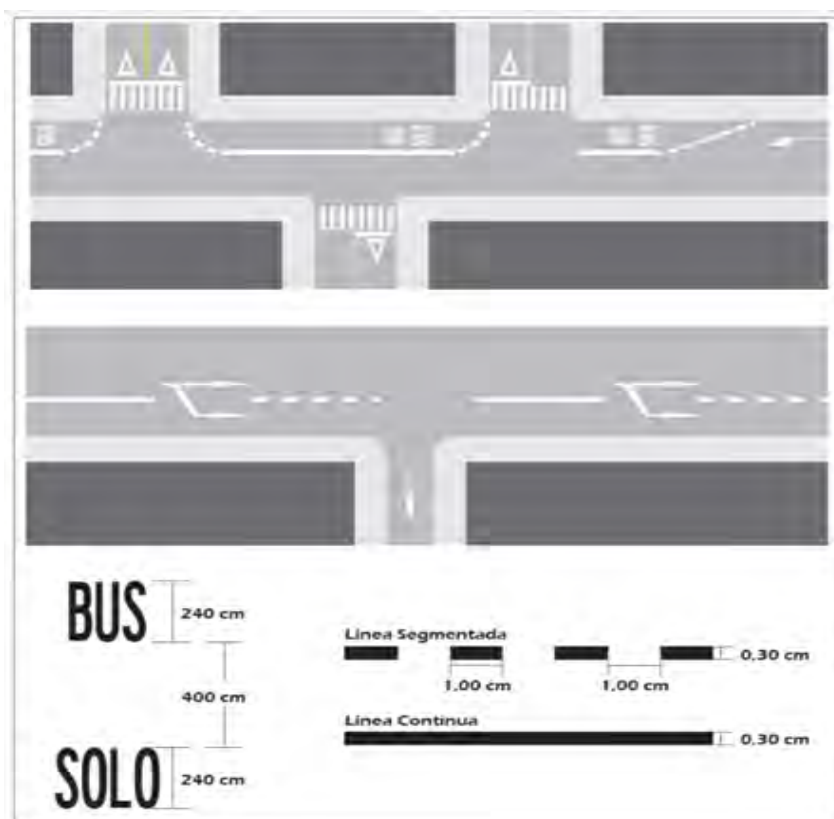
Se ha propuesto como señalización lo establecido en el Manual de Dispositivos del Tránsito automotor para calles y carreteras (2018), en donde se especifica que, para los carriles segregados o vías exclusivas para el tránsito de buses, se debe instalar la señal de vía segregada para buses R-55A, R-55B (Ver Figura 79) al lado derecho de la vía. Además, se debe complementar con marcas en el pavimento que indique "SOLO BUSES" (Ver Figura 80). La altura como área libre de poste de piso a base de cartel debe ser de 2.10 m

Figura 79*Señal vía segregada para buses: SOLO BUS*

Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018)

Figura 80

Ejemplo de aplicación de incorporación a carriles exclusivos



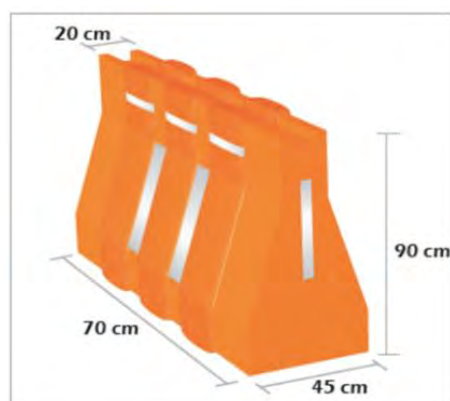
Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018)

4.4 Dispositivos de segregación de carriles

Con el fin de que el carril bus se respete y otros vehículos no invadan este carril, se ha propuesto como elemento de segregación de carriles la tranquera tipo maletín mostrado en la Figura 81. Este tipo de segregación es mencionada en el Manual de Dispositivos del Tránsito automotor para calles y carreteras (2018) y garantiza un mejor funcionamiento del carril bus.

Figura 81

Barrera o tranquera tipo maletín



Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018)

4.5 Creación y calibración del modelo en Vissim

Para comprobar la viabilidad propuesta, se ha usado el software Vissim 24, en el cual se ha realizado la microsimulación de tres escenarios, cada uno con sus respectivas variantes a futuro.

En el primer escenario se ha reflejado la situación actual del tramo piloto, teniendo en cuenta los volúmenes vehiculares existentes, los ciclos semafóricos actuales y sin realizar modificaciones en la geometría vial; la variante de este escenario consideró volúmenes vehiculares proyectados a cinco años, los ciclos semafóricos actuales y no se ha realizado tampoco modificaciones en la geometría vial actual. Asimismo, para ambas situaciones del primer escenario se han ubicado los puntos de subida y bajada de paraderos en lugares no oficiales, para reflejar la práctica común que se ha observado en la realidad. El análisis de este escenario ha sido esencial para la evaluación de las posibles mejoras sostenibles a implementar con el fin de dar prioridad al transporte público sobre los vehículos particulares.

En el segundo escenario se ha implementado un carril segregado exclusivo para buses en el lado derecho de la vía en la actualidad y también con una variante de proyección de tráfico a futuro al 2027. Para ambas situaciones del segundo escenario se han mantenido los ciclos semafóricos existentes y el comportamiento actual de subida y parada de pasajeros en cualquier punto de la avenida, esto con el fin de evaluar si ocurrieron mejoras con solo la implementación del carril bus en la avenida. Este escenario propone una iniciativa para la toma de medidas sostenibles ante la problemática de la congestión vehicular.

En el tercer escenario se ha considerado la implementación de un carril bus segregado en el lado derecho de la vía, aplicando una reducción sobre el tráfico actual del 15% del volumen de autos y camionetas y una reducción del 100% del volumen de motos y mototaxis. La diferencia entre este escenario y el escenario dos, además de la reducción de tráfico, es que se han implementado también medidas complementarias que hacen más atractivo al transporte público para los usuarios. Este tercer escenario, al igual que los anteriores, se ha evaluado en la actualidad y en un futuro de cinco años. En ambas situaciones se ha tenido en cuenta los tiempos semafóricos existentes, y se han diseñado y ubicado estratégicamente nuevos paraderos a lo largo del tramo piloto, esto con el fin de que el transporte público luzca más atractivo y eficiente. Este escenario evalúa mediante una propuesta completa el tráfico en una situación que busca convertir a Piura en una ciudad con un enfoque sostenible y que, con el tiempo, los usuarios de transporte particular migren hacia el transporte público.

4.5.1 Creación de red vial

Para comenzar con la creación del modelo de simulación, se ubicó el tramo de estudio en el mapa que ofrece el programa por defecto y se han localizado las tres intersecciones a evaluar; fue necesario corroborar que el mapa a usar coincidiera con la actual geometría vista en

campo. En la Figura 82, se observa la ubicación de las tres intersecciones del tramo de estudio en el interfaz Vissim.

Figura 82

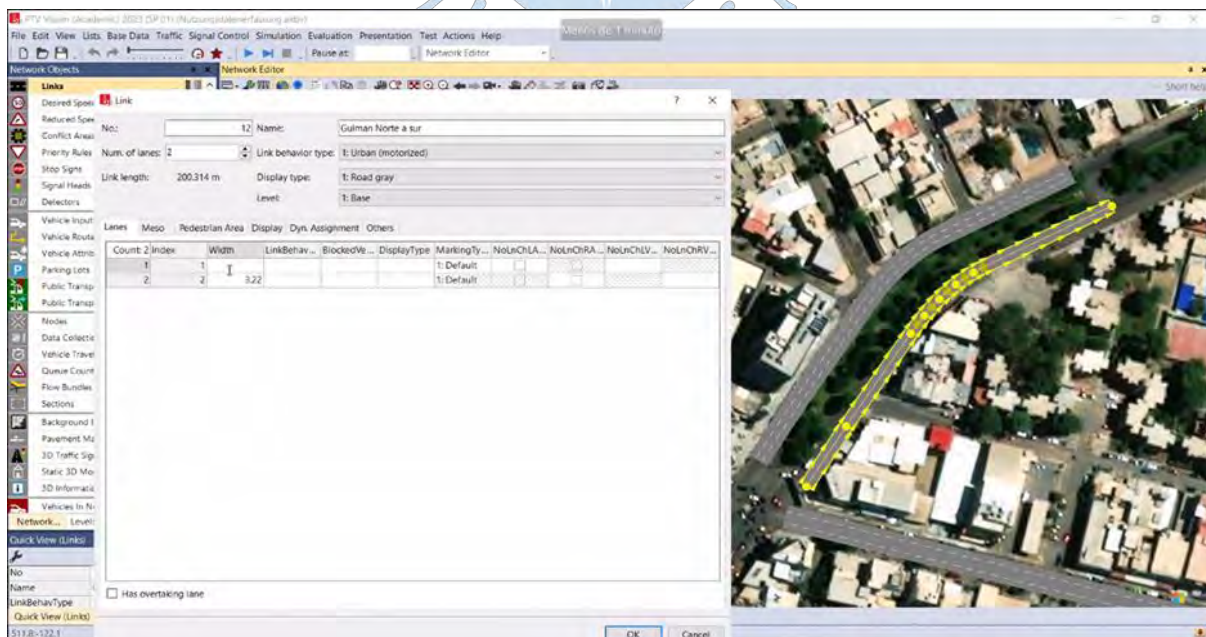
Ubicación del tramo de estudio en el mapa por defecto



Luego, mediante el uso de la herramienta *Links* se han dibujado los carriles vehiculares teniendo en cuenta el sentido del tránsito, asignando el número de carriles y el ancho de cada uno con los datos obtenidos en campo (Ver Figura 83). En caso de necesitar generar puntos intermedios para darle curvatura a los links y se adapte a la geometría real, se utiliza el comando *Slipne*.

Figura 83

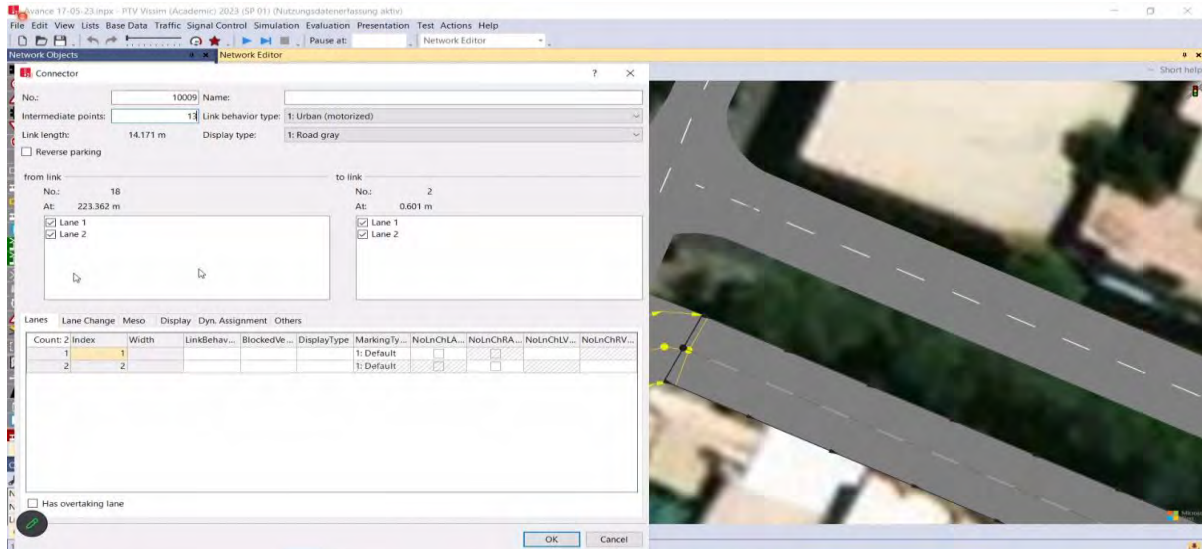
Pestaña del comando Links



Con el comando *Connector* se han unido los links creados. Aquí es importante generar más puntos intermedios para lograr darle al conector cierta curvatura que será muy importante para los giros. Ver Figura 84.

Figura 84

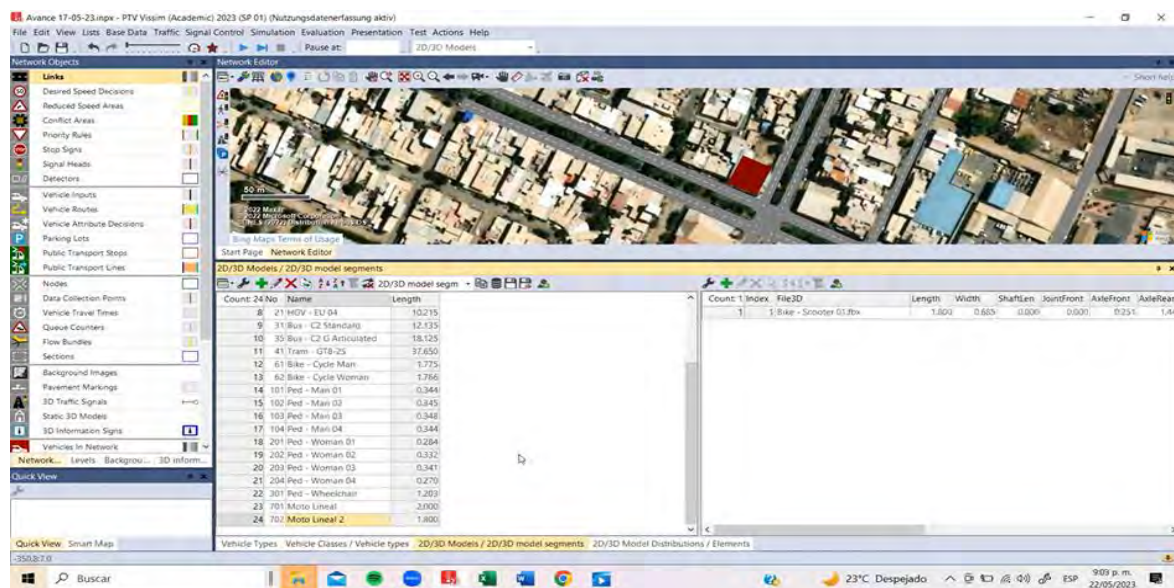
Pestaña Connector



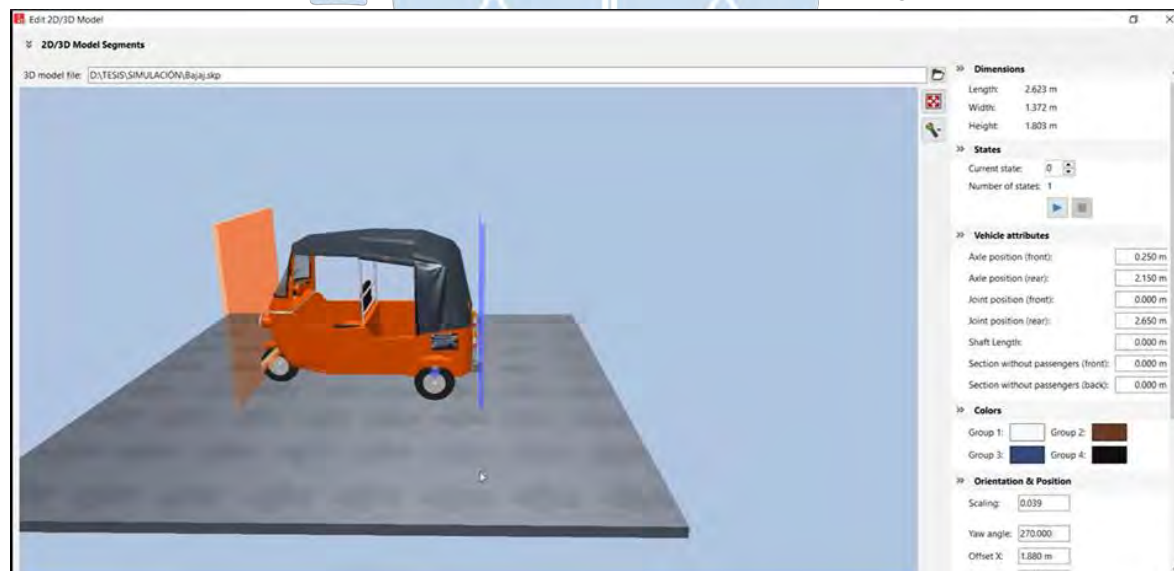
4.5.2 Volúmenes de Tránsito y Composición vehicular

Luego de creada la geometría vial del tramo delimitado de estudio, se ha adicionado los vehículos que transitarán en la avenida con las herramientas *Vehicle Type* y *Vehicle Classes*. En la zona de estudio se han considerado mototaxis, motos lineales, bicicletas, automóviles, camionetas, micros, buses y camiones.

En la pestaña *2D/3D Model* se definen los modelos en 2D y 3D de los vehículos creados, en donde encontramos modelos variedad de vehículos por defecto, se en la base de datos de programa. Luego de esto genera la distribución de esos mismos en la pestaña *2D/3D Model Distribution* (Ver Figura 85).

Figura 85**Pestaña 2D/3D Model Distribution**

En caso un modelo requerido de vehículo no se encuentre entre los que ofrece el programa, se puede utilizar la herramienta de SketchUp para luego configurar los ejes en Vissim. Ver Figura 86.

Figura 86**Modelo de mototaxi creado con la herramienta Sketchup**

Luego del procedimiento de la creación de los modelos 2D y 3D de los diferentes tipos de vehículos, se insertó en la pestaña *Vehicle Inputs* los volúmenes en unidades mixtas por cada acceso de las tres intersecciones en estudio. Ver Figura 87.

Figura 87

Volúmenes en unidades mixtas por cada acceso

Count: 18	No	Name	Link	Volume(0-900)	Volume(900-MAX)	VehComp(0-900)	VehComp(900-MAX)
1	1	Av Grau - Vice Acc O	22: AV. GRAU	1592,0	1592,0	4: Av Grau - Vice Acc O	4: Av Grau - Vice Acc O
2	2	Av Grau - Vice Acc S	18: Av. vice Sur-Norte	1254,0	1254,0	3: Av Grau - Vice Acc S	3: Av Grau - Vice Acc S
3	3	Av Grau - Vice Acc N	15: Av. vice Norte-sur	1496,0	1496,0	2: Av Grau - Vice Acc N	2: Av Grau - Vice Acc N
4	4	Av Grau - Gulman Acc S	13: Gulman Sur norte	1217,0	1217,0	6: Av Grau - Gulman Acc S	6: Av Grau - Gulman Acc S
5	5	Av Grau - Gulman Acc N	11: Gulman Norte a sur	1812,0	1812,0	5: Av Grau - Gulman Acc...	5: Av Grau - Gulman Acc...
6	6	Av Grau - San Martín Acc S	20: San Martín Sur-Norte	931,0	931,0	8: Av Grau - San Martín S	8: Av Grau - San Martín S
7	7	Av Grau - San Martín Acc E	6: Av grau sección típica 2	1064,0	1064,0	9: Av Grau - San Martín E	9: Av Grau - San Martín E
8	8	Av Grau - San Martín Acc N	19: San Martín Norte-sur	710,0	710,0	7: Av Grau - San Martín N	7: Av Grau - San Martín N
9	9	Jirón Piura Acc S	45: Jirón piura sur-norte	24,0	24,0	10: Vías Secundarias	10: Vías Secundarias
10	10	Calle las lomas Acc N	41: Calle Las lomas norte-sur	51,0	51,0	10: Vías Secundarias	10: Vías Secundarias
11	11	Calle Las lomas Acc S	39: Calle Las lomas sur-norte	44,0	44,0	10: Vías Secundarias	10: Vías Secundarias
12	12	Jirón Tomás Cortés Acc N	36: Jirón Tomás Cortés norte-sur	53,0	53,0	10: Vías Secundarias	10: Vías Secundarias
13	13	Jirón Tomás Cortés Acc S	37: Jirón Tomás Cortés sur-norte	45,0	45,0	10: Vías Secundarias	10: Vías Secundarias
14	14	Calle Tomas Dieguez Acc N	29: Calle Tomas Dieguez Norte-sur	26,0	26,0	10: Vías Secundarias	10: Vías Secundarias

Así mismo, se crearon las composiciones vehiculares con la opción *Vehicle Compositions* para cada acceso según los datos obtenidos en campo. Ver Figura 88.

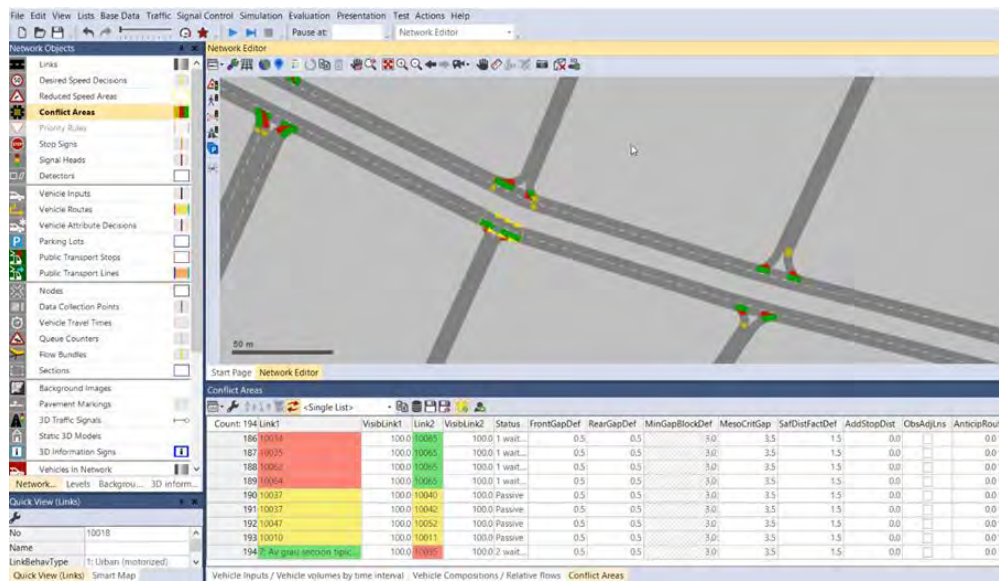
Figura 88

Composiciones vehiculares con velocidades

Count: 11	No	Name	Count: 9	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	1	Default	1	100: Car	40: 40 km/h	412,000
2	2	Av Grau - Vice Acc N	2	200: HGV	30: 30 km/h	5,000
3	3	Av Grau - Vice Acc S	3	310: Buses	30: 30 km/h	9,000
4	4	Av Grau - Vice Acc O	4	620: Bike Woman	15: 15 km/h	14,000
5	5	Av Grau - Gulman Acc N	5	700: Moto Lineal	40: 40 km/h	421,000
6	6	Av Grau - Gulman Acc S	6	800: Mototaxi	30: 30 km/h	490,000
7	7	Av Grau - San Martín N	7	900: Station Wagon	40: 40 km/h	70,000
8	8	Av Grau - San Martín S	8	1000: Camioneta	40: 40 km/h	163,000
9	9	Av Grau - San Martín E	9	1100: Bike Izq	15: 15 km/h	6,000
10	10	Vías Secundarias				
11	11	Bicis				

4.5.3 Puntos de conflicto y reglas de prioridad

Es importante establecer las prioridades de paso en las intersecciones no semaforizadas, para ello se usó la opción *Conflict Areas*, asignando el color verde para el que tenga prioridad y con rojo el que debe frenar y esperar. Ver Figura 89.

Figura 89*Definición de áreas de conflicto*

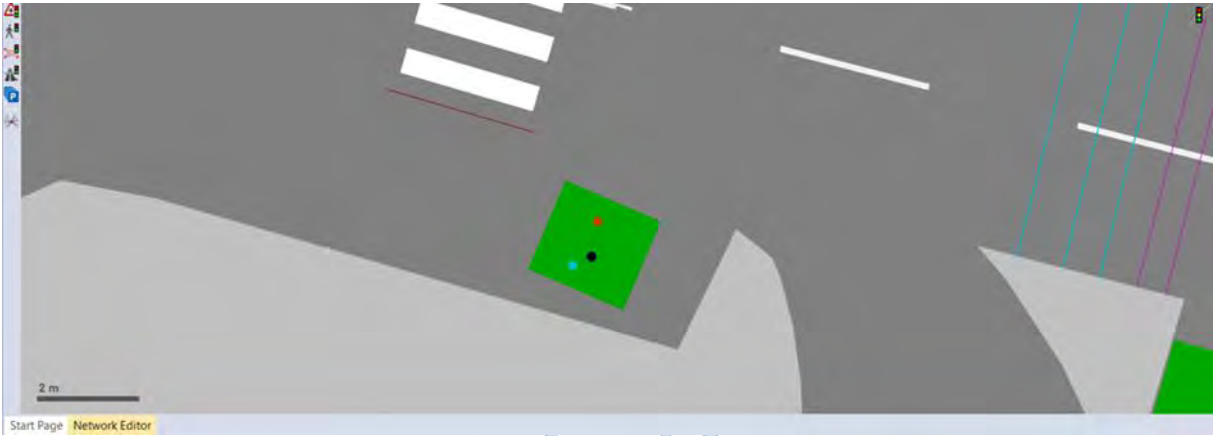
4.5.4 Creación de pasos peatonales

Para la creación de los pasos peatonales se utilizó la herramienta Links para crear el segmento vial por el que van a transitar los peatones, al cual se le asigna un ancho y un sentido, en las observaciones del segmento vial se bloquean los vehículos y se habilita solo la circulación de peatones. Con la herramienta *Pedestrian Inputs* se asignaron los volúmenes peatonales de cada segmento creado y con la herramienta *Pedestrian Routes*, las rutas de los peatones. Ver Figura 90 y Figura 91.

Figura 90*Creación de líneas peatonales*

Figura 91

Ingreso de volumen peatonal (Punto negro), punto inicial de ruta peatonal (Punto rojo) y punto de destino de una ruta peatonal (Punto azul)

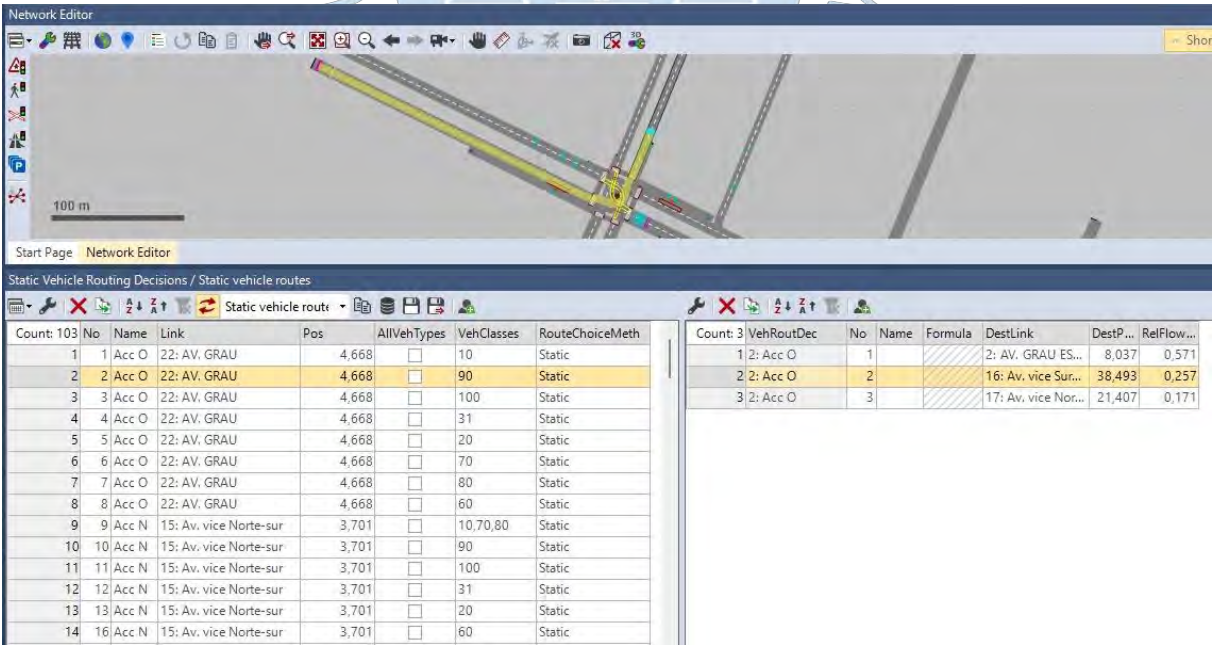


4.5.5 Creación de rutas

Con la opción *Vehicle Route*, se distribuyó el flujo de vehículos entre las rutas que pueden seguir. Esta información se basó en los flujogramas presentados de las tres intersecciones, determinando el porcentaje de vehículos que se dirige hacia un diferente destino desde determinado punto de partida. En este caso, se designó una ruta por cada clase de vehículo. Ver Figura 92.

Figura 92

Creación de rutas

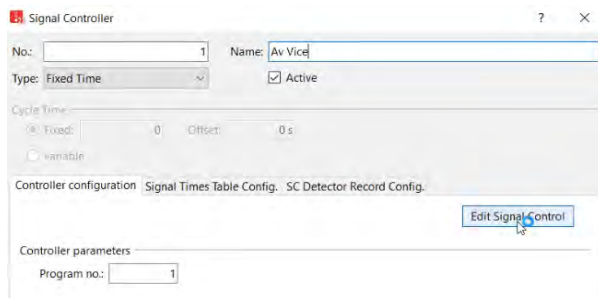


4.5.6 Creación e implementación de control semafórico

Luego de realizados estos pasos, se implementó el control semafórico usando la herramienta *Signal Controller*, en donde se le asignó un nombre al semáforo y luego se editó el regulador semafórico. Ver Figura 93.

Figura 93

Herramienta Signal Controller



Se creó las fases semafóricas y los tiempos de cada color en base a los datos obtenidos en campo por cada una de las tres intersecciones, como se puede apreciar en la Figura 94, Figura 95 y Figura 96

Figura 94

Asignación de fases y tiempos semafóricos intersección Av. Grau-Av. Vice

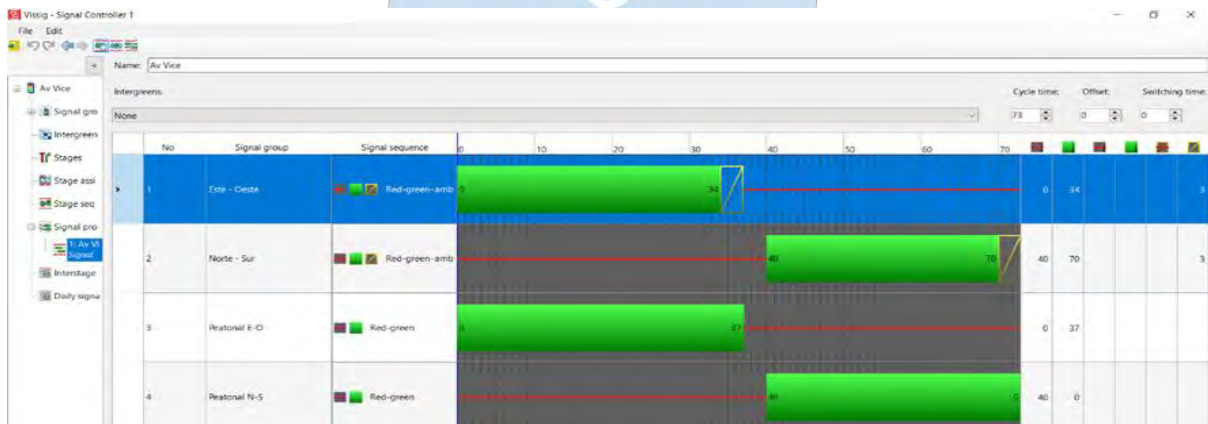


Figura 95

Asignación de fases y tiempos semafóricos intersección Av. Grau-Av. Gulman

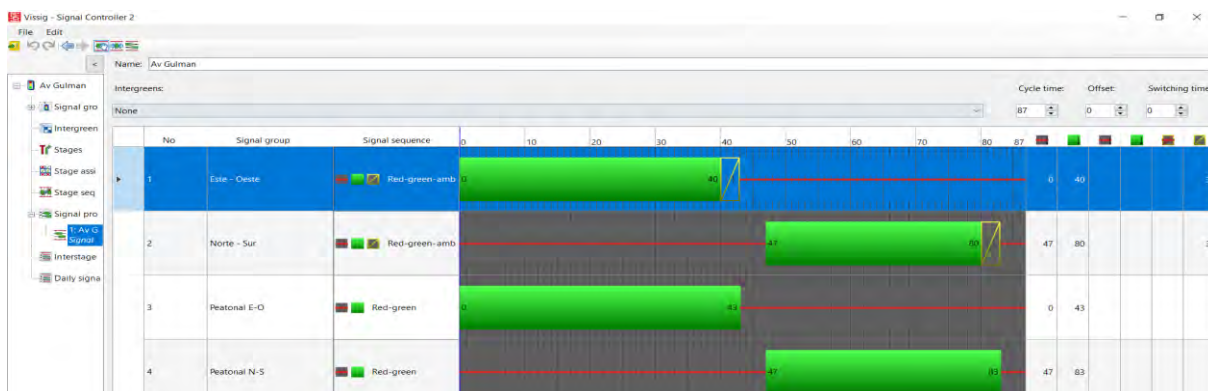
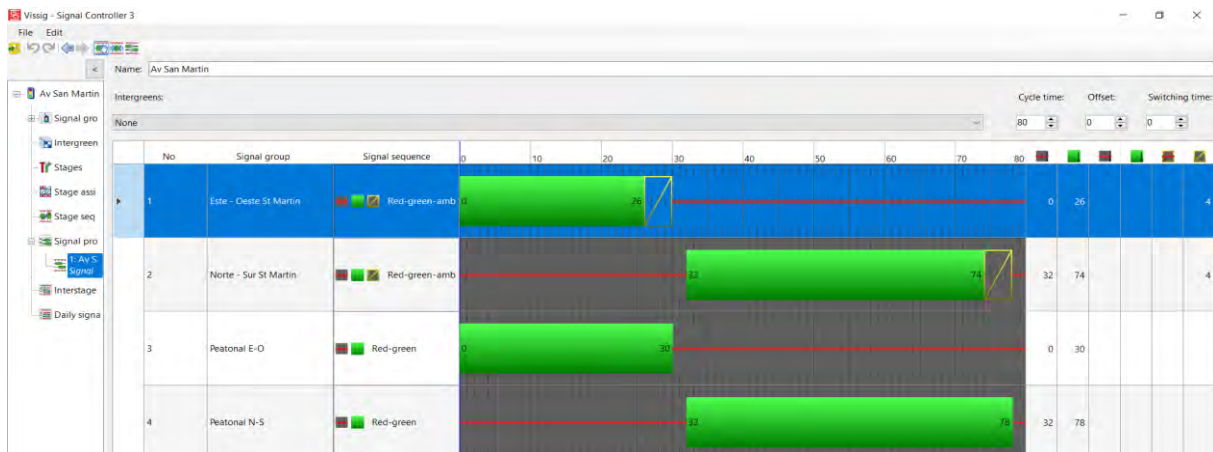


Figura 96

Asignación de fases y tiempos semafóricos intersección Av. Grau-Av. San Martín

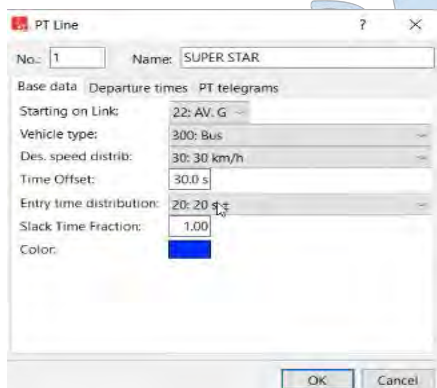


4.5.7 Zonas de paradas y líneas de transporte público

Para el caso de las rutas de transporte público se ha utilizado la herramienta *Public Transport Line*, con la cual se creó la ruta en ambos sentidos por donde circulan los buses el transporte público (Ver Figura 97). Así mismo, para definir las zonas de parada, se ha usado la herramienta *Public Transport Stop* (Ver Figura 98). En la Figura 99 se puede observar la creación de un paradero de transporte público en Vissim.

Figura 97

Herramienta Public Transport Line en Vissim

**Figura 98**

Herramienta Public Transport Stop en Vissim

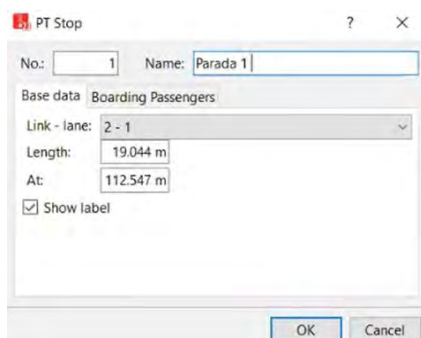
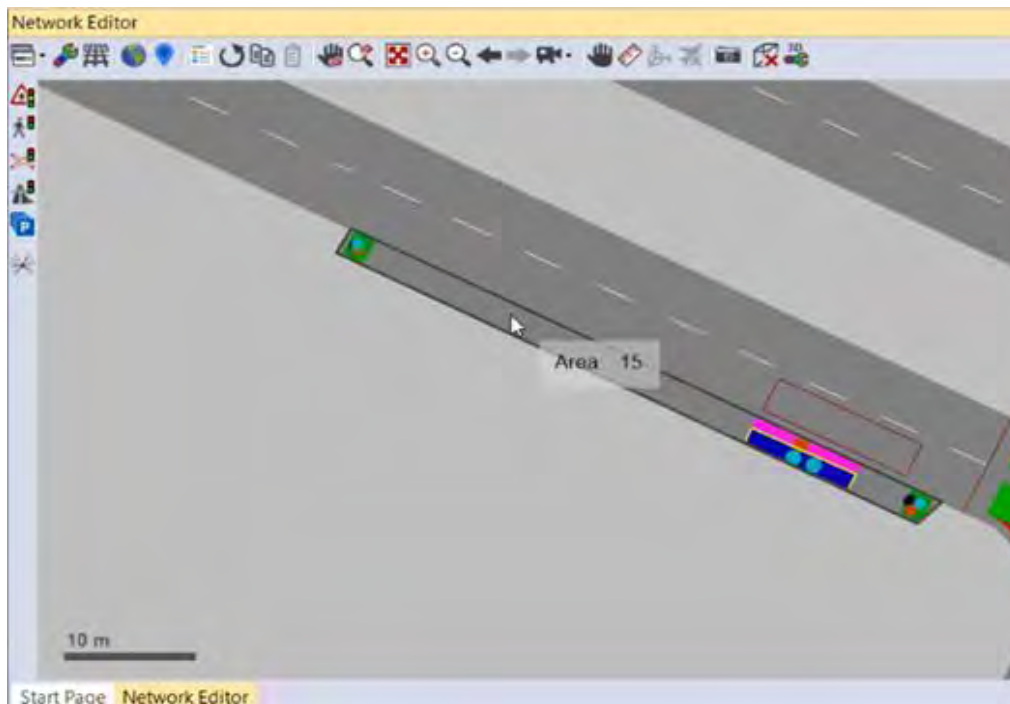


Figura 99*Creación de paradero de transporte público*

Para la toma de datos en campo de los paraderos de buses de transporte público en el tramo de estudio, se tiene que considerar los paraderos formales implementados por la Municipalidad de Piura; sin embargo, en la zona estudiada solo existe un paradero formal ubicado en la intersección de la Av. Grau con calle las Lomas, en donde el bus de transporte público no paró en ningún momento para dejar o recoger pasajeros durante el conteo en campo que se realizó en la hora pico del día.

Es importante resaltar que los buses que transitan por la avenida Grau, no respetan las zonas de paraderos establecidas, sino que paran a subir y bajar pasajeros en cualquier punto. Para la simulación del primer escenario, el cual representa la situación actual de tráfico, se ha ubicado zonas de paradero en donde usualmente suelen subir y bajar pasajeros, a pesar de no ser paraderos formales.

Además, con el fin de obtener datos reales del servicio de transporte público en el tramo estudiado, se realizaron conteos en campo de subidas y bajadas de pasajeros en la hora pico del día en una zona de la intersección de la Av. Grau – Av. Gulman, donde se observó que el bus se detenía a dejar y recoger pasajeros. Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28*Tiempo de subida y bajada de pasajeros Av. Grau - Av. Gulman*

Tiempo de subida y bajada de pasajeros Av. Grau - Av. Gulman						
ID	LINEA	PLACA	HORA DE LLEGADA	Nº DE PASAJEROS QUE BAJAN	Nº DE PASAJEROS QUE SUBEN	FRECUENCIA
1	SUPERSTAR	P2C-356	11:01:36	0	1	
2	SUPERSTAR	P2R-792	11:03:18	0	1	00:01:42
3	SUPERSTAR	P2S-905	11:06:04	0	0	00:02:46
4	SUPERSTAR	P2U-766	11:09:45	1	1	00:03:41
5	SUPERSTAR	ANZ-730	11:14:15	0	0	00:04:30
6	SUPERSTAR	P1Y-599	11:16:55	1	0	00:02:40
7	SUPERSTAR	P3C-920	11:21:03	1	0	00:04:08
8	SUPERSTAR	D5D-746	11:27:26	0	3	00:06:23
9	SUPERSTAR	P2W-891	11:28:11	0	0	00:00:45
10	SUPERSTAR	P2T-865	11:32:54	2	0	00:04:43
11	SUPERSTAR	AYT-916	11:35:02	1	1	00:02:08
12	SUPERSTAR	CCF-543	11:39:25	0	0	00:04:23
13	SUPERSTAR	P2Z-945	11:43:00	2	0	00:03:35
14	SUPERSTAR	P2Z-829	11:49:10	0	2	00:06:10
15	SUPERSTAR	P2R-813	11:54:55	1	1	00:05:45
16	SUPERSTAR	AUN-863	11:58:02	2	2	00:03:07
TOTAL				15	12	00:03:46

La información de la Tabla 28, se tomó como referencia para los demás paraderos informales ubicados en el tramo de estudio para la simulación del primer escenario. Se insertó en el software la frecuencia promedio de los buses de transporte público calculada también en la Tabla 28, además de la capacidad del bus que en este caso se observó que es 29 personas sentadas y 15 paradas aproximadamente. Ver Figura 100.

Figura 100*Public Transportation line*

The screenshot shows a software window titled 'PT Line' with a sub-window 'Base data'. It displays a table with columns: 'Count: 16/Dep', 'TeleCour', 'Occup', and a final column with values '44'. The table lists 16 rows of data, with the first row highlighted in yellow.

Count: 16/Dep	TeleCour	Occup	
1	0.0	0	44
2	226.0	0	44
3	452.0	0	44
4	678.0	0	44
5	904.0	0	44
6	1130.0	0	44
7	1356.0	0	44
8	1582.0	0	44
9	1808.0	0	44
10	2034.0	0	44
11	2260.0	0	44
12	2486.0	0	44
13	2712.0	0	44
14	2938.0	0	44
15	3164.0	0	44
16	3390.0	0	44

4.5.8 Calibración

Para el proceso de calibración del modelo microscópico, se eligió realizar una calibración por volúmenes, comparando los volúmenes contados y los modelados. Se ha utilizado el parámetro GEH para demostrar que los flujos de tránsito dentro del modelo coinciden con los recuentos de tráfico reales con un nivel aceptable de precisión.

Siguiendo el proceso propuesto por la *Federal Highway Administration* (2004) para calcular el número mínimo de corridas, se extrajeron los datos de las 10 primeras corridas (N) con el fin de obtener los parámetros estadísticos de la desviación estándar (S).

Tabla 29*Cálculo de la desviación estándar (S) para calcular número de corridas*

Número de corridas	Volumen Total Av. Vice	Volumen total Promedio Av. Vice	(X-Xprom)^2
Corrida 1	5791	5805	196
Corrida 2	5547	5805	66,564
Corrida 3	5759	5805	2,116
Corrida 4	6005	5805	40,000
Corrida 5	5716	5805	7,921
Corrida 6	5725	5805	6,400
Corrida 7	6000	5805	38,025
Corrida 8	5929	5805	15,376
Corrida 9	5993	5805	35,344
Corrida 10	5584	5805	48,841
Suma de (X-Xprom)^2			260,783
N-1			9
S			170.22

Asimismo, esta desviación también se puede extraer de los datos de la simulación en el software Vissim 24, tal como se detalla en la imagen Figura 101.

Figura 101

Desviación estándar de la Av. Vice obtenida de la simulación

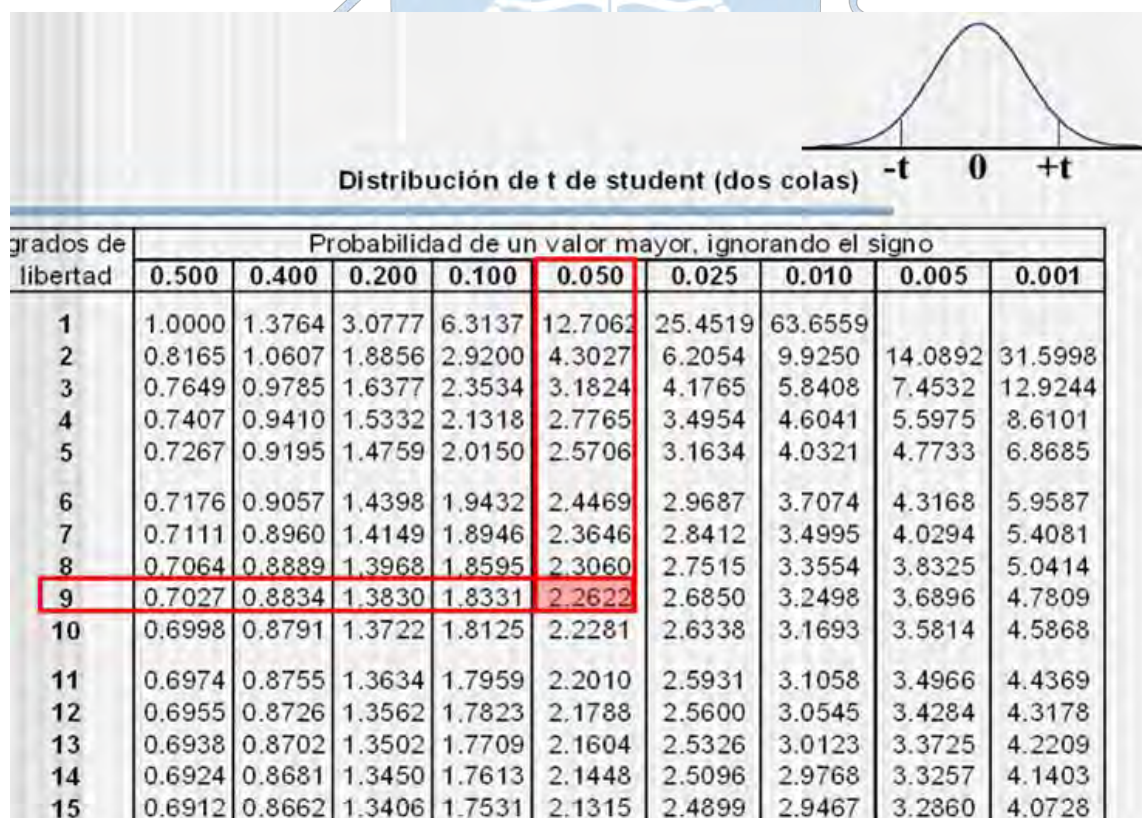


Count	SimRun	TimeInt	Movement(Node)	Movement(Direction)	Vehs(All)	QLen	QLenMax	Stops(All)	StopDelay(All)	VehDelay(All)	LOS(All)	LOSVal(All)
403	Standard deviation	900-4500 1: Av Vice	N-SE		16	43.30	5.61	0.98	15.49	20.09		0
404	Standard deviation	900-4500 1: Av Vice	N-NW		15	43.30	5.61	0.69	7.50	11.42		1
405	Standard deviation	900-4500 1: Av Vice	N-SW		42	43.30	5.61	0.67	10.36	14.24		1
406	Standard deviation	900-4500 1: Av Vice	SW-SE		14	20.36	34.22	0.30	5.69	7.62		1
407	Standard deviation	900-4500 1: Av Vice	SW-NW		12	20.36	34.22	0.52	28.12	30.55		1
408	Standard deviation	900-4500 1: Av Vice	SW-SE		12	20.36	34.22	0.39	8.01	10.32		0
409	Standard deviation	900-4500 1: Av Vice	Total		170	13.73	31.95	0.26	4.21	5.40		0
410	Standard deviation	900-4500 2: Av Gulman	W-SE		17	31.03	55.44	1.21	12.28	18.35		1
411	Standard deviation	900-4500 2: Av Gulman	W-NE		6	31.03	55.44	2.04	22.35	28.94		0
412	Standard deviation	900-4500 2: Av Gulman	W-SW		17	31.03	55.44	0.89	9.59	14.34		1

Para el cálculo del intervalo de confianza (CI), se ha hallado la distribución T -student para N-1 grados de libertad, el cual resulta siendo 9. Para este estudio se considera un 95% de confianza, es decir 0.050 de probabilidad de un valor mayor.

Figura 102

Tabla de distribución de t de student (dos colas)



Distribución de t de student (dos colas)

grados de libertad	Probabilidad de un valor mayor, ignorando el signo								
	0.500	0.400	0.200	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005	0.001
1	1.0000	1.3764	3.0777	6.3137	12.7062	25.4519	63.6559		
2	0.8165	1.0607	1.8856	2.9200	4.3027	6.2054	9.9250	14.0892	31.5998
3	0.7649	0.9785	1.6377	2.3534	3.1824	4.1765	5.8408	7.4532	12.9244
4	0.7407	0.9410	1.5332	2.1318	2.7765	3.4954	4.6041	5.5975	8.6101
5	0.7267	0.9195	1.4759	2.0150	2.5706	3.1634	4.0321	4.7733	6.8685
6	0.7176	0.9057	1.4398	1.9432	2.4469	2.9687	3.7074	4.3168	5.9587
7	0.7111	0.8960	1.4149	1.8946	2.3646	2.8412	3.4995	4.0294	5.4081
8	0.7064	0.8889	1.3968	1.8595	2.3060	2.7515	3.3554	3.8325	5.0414
9	0.7027	0.8834	1.3830	1.8331	2.2622	2.6850	3.2498	3.6896	4.7809
10	0.6998	0.8791	1.3722	1.8125	2.2281	2.6338	3.1693	3.5814	4.5868
11	0.6974	0.8755	1.3634	1.7959	2.2010	2.5931	3.1058	3.4966	4.4369
12	0.6955	0.8726	1.3562	1.7823	2.1788	2.5600	3.0545	3.4284	4.3178
13	0.6938	0.8702	1.3502	1.7709	2.1604	2.5326	3.0123	3.3725	4.2209
14	0.6924	0.8681	1.3450	1.7613	2.1448	2.5096	2.9768	3.3257	4.1403
15	0.6912	0.8662	1.3406	1.7531	2.1315	2.4899	2.9467	3.2860	4.0728

Nota: Federal Highway Administration (2004)

Con estos datos se obtiene el intervalo de confianza (IC) mostrado en la Tabla 30

Tabla 30

Cálculo de Intervalo de confianza (CI)

Datos	Resultados
N	10
S	170.22
Nivel confianza	95%
$t(\infty/2), N-1$	2.2622
CI	243.55

Con este valor de intervalo de confianza (IC), dividido entre la desviación estándar (S), se tiene un resultado de 1.43. Con la Tabla 31 propuesta por la *Federal Highway Administration* (2019), se hallaron las repeticiones mínimas que necesitará la simulación para arrojar resultados que reflejen la realidad.

Tabla 31

Número mínimo de repeticiones necesarias para obtener el intervalo de confianza deseado

Rango deseado (CI/S)	Confianza deseada	Repeticiones mínimas
0.5	99%	130
0.5	95%	83
0.5	90%	64
1	99%	36
1	95%	23
1	90%	18
1.5	99%	18
1.5	95%	12
1.5	90%	9
2.0	99%	12
2.0	95%	8
2.0	90%	6

Nota: Federal Highway Administration (2019)

El resultado indica que se requieren al menos 12 corridas para que el modelo sea aceptado. Luego de haber realizado las 12 corridas, se evaluó el parámetro GEH, el cual compara los volúmenes en campo y los del modelo, obteniéndose la Tabla 32.

Tabla 32*Cálculo del GEH*

Nodo	Accesos	Movimientos	Datos en Campo	Datos en el Modelo	GEH
1: Av Vice	OESTE	Av Vice O-S	102	91	1.12
		Av Vice O-E	1,106	993	3.49
		Av Vice O-N	309	255	3.22
	SUR	Av Vice S-E	133	152	1.59
		Av Vice S-N	911	962	1.67
		Av Vice S-O	113	122	0.83
	NORTE	Av Vice N-O	267	274	0.43
		Av Vice N-S	1,003	957	1.47
		Av Vice N-E	201	186	1.08
	ESTE	Av Vice E-N	358	336	1.18
		Av Vice E-S	63	80	2.01
		Av Vice E-O	1,217	1,194	0.66
2: Av Gulman	NORTE	Av Gulman N-O	455	404	2.46
		Av Gulman N-E	388	341	2.46
		Av Gulman N-S	1,121	999	3.75
	OESTE	Av Gulman O-N	51	54	0.41
		Av Gulman O-S	201	171	2.20
		Av Gulman O-E	954	927	0.88
	SUR	Av Gulman S-E	199	234	2.38
		Av Gulman S-O	241	220	1.38
		Av Gulman S-N	813	733	2.88
	ESTE	Av Gulman E-N	136	165	2.36
		Av Gulman E-S	73	64	1.09
		Av Gulman E-O	1,123	1,064	1.78
3: Av San Martin	SUR	Av San Martin S-E	469	422	2.23
		Av San Martin S-O	495	501	0.27
	NORTE	Av San Martin N-E	130	128	0.18
		Av San Martin N-O	225	228	0.20
		Av San Martin N-S	355	363	0.42
	OESTE	Av San Martin O-S	203	196	0.50
		Av San Martin O-E	1,131	1,049	2.48
	ESTE	Av San Martin E-O	924	990	2.13
		Av San Martin E-S	90	104	1.42
Total por tipo de Vehículo			15,560	14,959	4.87
Total Volumen en la red			15,560	14,959	4.87
Error de precisión en volumen total de la red				3.86%	

Como se puede observar en los resultados, todos los valores de GEH son menores que cinco, por lo que se cumple con la aceptación de la calibración.

4.6 Modelo 3D en vissim 24

La vista en planta de la red que contiene las tres intersecciones del tramo de estudio simulado en el software vissim 24 se muestra en la Figura 103. Las imágenes presentadas a continuación han sido obtenidas del tercer escenario, con el fin de mostrar la propuesta completa desarrollada a lo largo del presente estudio.

Figura 103

Tramo de estudio en Vissim 24



En la Figura 104, Figura 105 y Figura 106, se muestra el modelo 3D de las intersecciones Av. Grau – Av. Vice, Av. Grau – Av. Gulman y Av. Grau – Av. San Martín, respectivamente.

Figura 104

Modelo 3D desarrollado en Vissim 24 - Intersección Av. Grau - Av. Vice

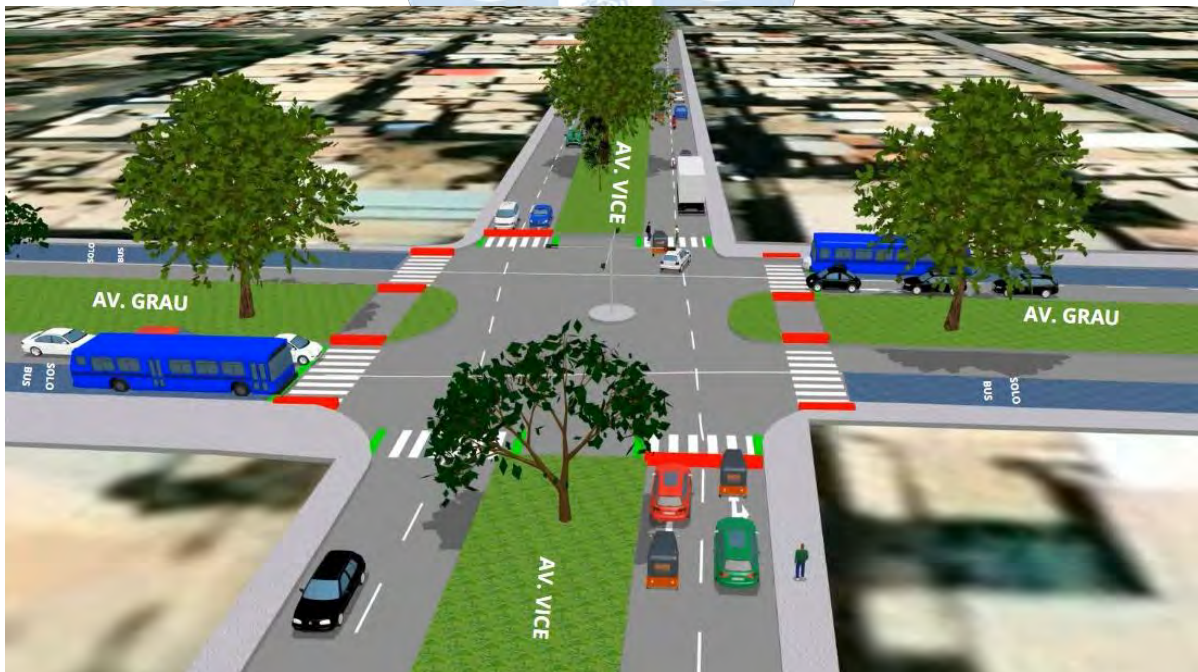


Figura 105

Modelo 3D desarrollado en Vissim 24 - Intersección Av. Grau - Av. Gulman

**Figura 106**

Modelo 3D desarrollado en Vissim 24 - Intersección Av. Grau - Av. San Martín



En la Figura 107, se muestran los paraderos implementados junto con el carril bus en el tercer escenario con el fin de que el uso del transporte público sea más atractivo para los usuarios. Se observan los 2 tipos de paraderos propuestos según las dimensiones de espacio disponible de la vía.

Figura 107

Modelo 3D de paradero tipo 1 (derecha) y paradero tipo 2 (izquierda)



4.7 Simulación de primer escenario: Tráfico actual en del tramo de estudio

En el primer escenario se ha realizado la microsimulación de la situación actual del año 2022 de tráfico del tramo piloto, teniendo en cuenta los volúmenes vehiculares existentes, los ciclos semafóricos actuales y sin realizar modificaciones en la geometría vial. Así mismo, se ha simulado una variante de este escenario en la que se ha proyectado el tráfico hacia el año 2027. Los ciclos semafóricos y la geometría de la vía se han mantenido igual, siendo estas las observadas actualmente. El propósito de la microsimulación de esta variante ha sido evaluar el crecimiento del parque automotor en la ciudad de Piura con el paso del tiempo, y determinar cómo esto contribuye a la problemática de congestión que se deriva del constante uso de vehículos de baja capacidad en una ciudad que aún no está totalmente encaminada hacia una movilidad sostenible.

En ambas situaciones de este primer escenario se han ubicado los puntos de subida y bajada de paraderos en lugares no oficiales, para reflejar la práctica común que se ha observado en la realidad.

Los resultados de longitud de cola y niveles de servicio obtenidos en el escenario 1, teniendo en cuenta el tráfico actual del año 2022 en la zona de estudio, se pueden observar en la Tabla 33 y fueron los siguientes:

- En la intersección Av. Grau – Av. Vice se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 93.21 m
- En la intersección Av. Grau – Av. Gulman se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 100.46 m
- En la intersección Av. Grau – Av. San Martín se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 38.43 m
- En la intersección Av. Grau – Av. Vice se obtuvo un nivel de servicio de E
- En la intersección Av. Grau – Av. Gulman se obtuvo un nivel de servicio de E
- En la intersección Av. Grau – Av. San Martín se obtuvo un nivel de servicio de D



Tabla 33*Resultados promedio de los nodos evaluados en la Av. Grau en escenario 1*

	Movimiento	Total Vehículos en Red	Longitud de Cola (m)	Demoras en Vehículos (seg)	Nivel de Servicio
1: Av Vice	NW-SE	993	154.79	90.50	F
	NW-N	255	154.79	167.81	F
	NW-SW	91	154.79	67.84	E
	SE-NW	1,193	47.28	38.01	D
	SE-N	336	47.28	34.42	C
	SE-SW	80	47.28	54.09	D
	N-SE	187	109.05	105.99	F
	N-NW	274	109.05	48.23	D
	N-SW	960	109.05	61.40	E
	SW-SE	152	61.72	42.41	D
	SW-NW	122	61.72	91.58	F
	SW-N	965	61.72	49.46	D
	Total	5,608	93.21	62.01	E
2: Av Gulman	W-E	926	92.05	79.69	E
	W-NE	54	92.05	139.89	F
	W-SW	171	92.05	63.78	E
	E-W	1,066	99.84	62.36	E
	E-NE	165	99.84	103.82	F
	E-SW	64	99.84	91.08	F
	NE-E	341	89.20	159.28	F
	NE-W	404	89.20	37.59	D
	NE-SW	999	89.20	47.57	D
	SW-E	234	120.72	55.35	E
	SW-W	220	120.72	308.93	F
	SW-NE	733	120.72	66.03	E
	Total	5,379	100.46	77.77	E
3: Av San Martin	W-E	1,048	38.86	35.53	D
	W-S	196	38.86	36.42	D
	E-W	991	25.01	22.26	C
	E-S	104	25.01	73.56	E
	N-E	128	8.68	17.48	B
	N-W	228	8.68	17.12	B
	N-S	363	8.68	17.27	B
	S-E	422	81.16	34.15	C
	S-W	503	81.16	94.06	F
	Total	3,983	38.43	37.12	D

Los tiempos de viaje y la velocidad de los buses de transporte público se pueden observar en la Tabla 34 y fueron los siguientes:

- En el sentido oeste – este se obtuvo un tiempo de viaje de 7.64 min y una velocidad de 12.81 km/h.
- En el sentido este – oeste se obtuvo un tiempo de viaje de 7.39 min y una velocidad de 13.23 km/h.

Tabla 34

Velocidad promedio del transporte público Av. Grau en escenario 1

Sentidos	Tiempo en min (Micros)	Velocidad Km/h (Micros)
Mov. Oeste - Este	7.64	12.81
Mov. Este - Oeste	7.39	13.23

Luego de haber obtenido los resultados del escenario 1 considerando el tráfico del año base 2022, se ha simulado la variante de este primer escenario en el que se considera el tráfico proyectado al año 2027. Previo a la simulación, se ha calculado el volumen a futuro utilizando la serie histórica del crecimiento del parque automotor en circulación en el departamento de Piura indicado en la Tabla 35.

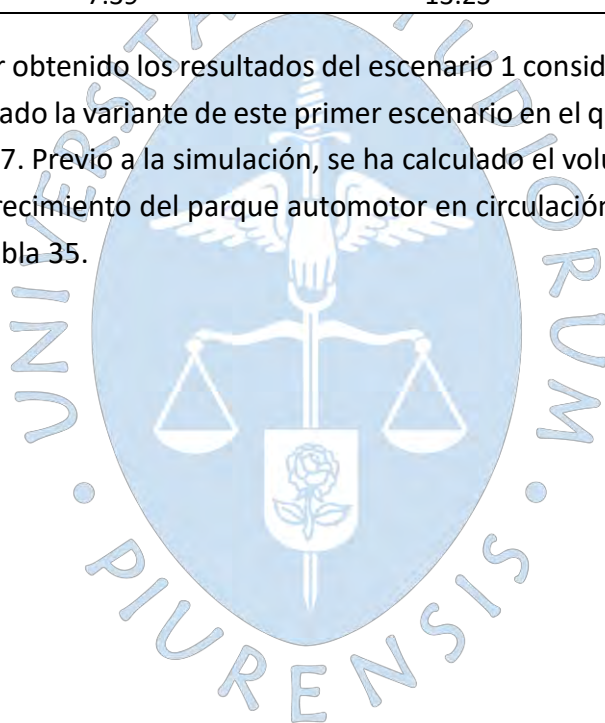


Tabla 35*Parque automotor en circulación a nivel nacional, 2000-2021*

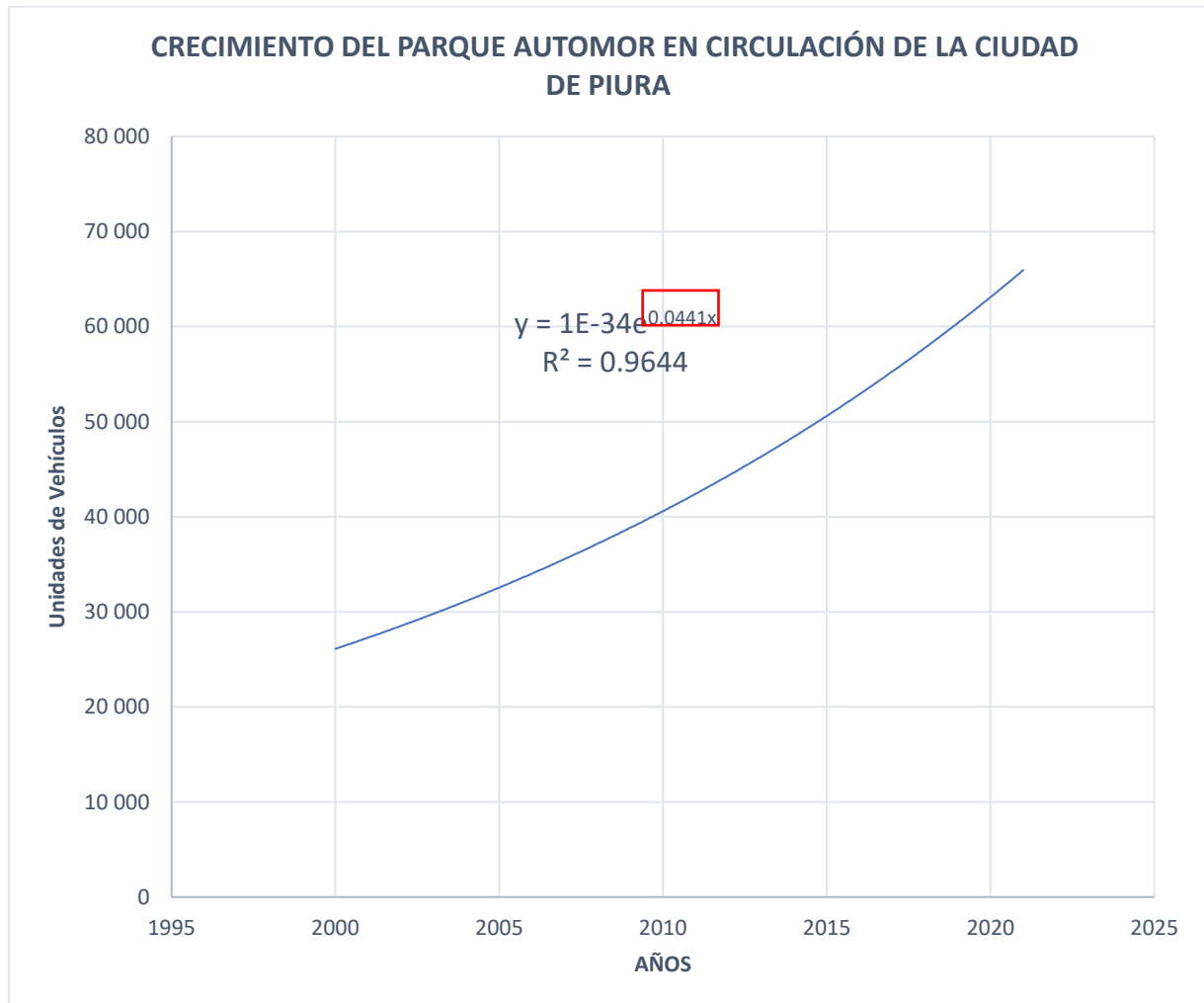
Departamento	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	1 162 859	1 209 006	1 248 512	1 342 288	1 361 403	1 440 017	1 473 530	1 534 303	1 640 970	1 732 834	1 849 690	1 979 865	2 137 837	2 287 875	2 423 696	2 544 133	2 661 719	2 786 101	2 894 327	3 004 308	3 070 704	3 186 730
Amazonas	1 287	1 590	1 801	1 900	1 975	2 020	2 103	2 168	2 218	2 292	2 390	2 407	2 400	2 351	2 314	2 275	2 273	2 227	2 182	2 142	2 119	2 079
Áncash	17 759	18 980	19 065	19 055	19 293	19 382	19 757	20 354	21 001	21 309	22 086	23 322	25 418	27 542	29 573	31 213	33 542	34 923	36 190	37 703	38 725	40 373
Apurímac	2 490	2 946	3 167	3 608	3 730	3 816	3 879	3 916	3 934	3 973	3 969	3 966	4 039	4 083	4 139	4 192	4 216	4 177	4 120	4 048	3 975	3 929
Arequipa	68 997	72 885	76 267	78 162	78 858	79 544	81 293	84 829	91 674	98 270	106 521	118 985	134 533	149 892	164 302	176 315	187 929	200 560	211 735	222 491	229 266	241 743
Ayacucho	3 367	3 770	3 804	3 832	3 882	3 919	3 969	4 153	5 404	5 572	5 716	5 784	5 941	5 968	6 021	6 022	6 041	6 015	5 918	5 798	5 686	5 687
Cajamarca	6 541	7 368	7 905	8 365	8 882	9 501	10 256	11 255	12 383	13 563	15 107	17 320	19 673	21 461	22 664	23 740	24 943	26 224	27 674	29 036	30 014	32 765
Cusco	29 251	32 412	33 603	34 993	35 342	35 705	36 204	37 592	39 688	42 175	45 090	48 491	53 675	59 459	64 820	69 213	73 997	79 874	84 942	89 338	91 802	95 835
Huancavelica	829	911	1 028	1 036	1 043	1 061	1 080	1 103	1 216	1 291	1 319	1 317	1 323	1 300	1 315	1 286	1 286	1 259	1 235	1 210	1 186	1 163
Huánuco	10 519	10 818	10 795	11 088	10 968	10 886	10 836	10 892	11 255	11 382	11 864	12 576	13 476	14 261	14 911	15 648	16 382	16 915	17 367	17 991	18 075	18 269
Ica	21 052	21 837	22 290	22 614	22 692	22 753	22 834	23 170	25 498	25 691	26 135	26 419	26 551	26 398	26 439	26 715	27 092	27 423	27 558	27 970	27 923	27 958
Junín	41 164	42 553	43 272	43 488	43 468	43 648	44 454	46 091	47 769	49 404	51 094	53 118	56 237	59 019	61 933	64 576	67 049	69 760	72 316	74 947	76 284	78 821
La Libertad	38 856	40 119	41 312	98 217	97 590	153 777	152 847	153 251	155 411	156 646	158 672	162 026	167 325	172 968	178 433	183 931	190 073	196 040	202 558	208 882	213 166	223 529
Lambayeque	35 126	36 245	37 266	37 739	37 967	38 263	38 744	39 930	41 920	43 689	45 881	49 440	53 902	58 142	61 896	65 160	68 261	71 328	74 092	76 586	78 677	82 789
Lima	776 820	802 748	829 214	851 360	866 881	885 636	912 763	957 368	1 036 850	1 106 444	1 195 353	1 287 454	1 395 576	1 498 037	1 590 755	1 674 145	1 752 919	1 837 347	1 908 672	1 982 650	2 025 227	2 090 001
Loreto	5 442	5 510	5 477	5 413	5 336	5 286	5 215	5 154	5 132	5 089	5 089	5 211	5 313	5 443	5 533	5 501	5 501	5 489	5 477	5 486	5 469	5 485
Madre de Dios	604	630	695	806	823	819	827	870	913	941	986	1 027	1 062	1 123	1 136	1 161	1 223	1 308	1 383	1 405	1 407	1 461
Moquegua	8 030	8 258	8 697	9 004	9 417	9 622	10 394	11 418	12 202	12 692	13 348	14 003	14 608	14 944	14 979	14 931	14 931	14 887	14 810	14 691	14 535	14 607
Pasco	3 562	3 822	4 048	4 383	4 772	5 232	5 514	6 075	6 807	7 187	7 351	7 292	7 238	7 108	6 956	6 804	6 804	6 660	6 545	6 441	6 790	7 402
Piura	29 325	29 844	30 851	31 391	31 731	31 734	31 828	32 314	33 497	34 650	36 367	39 099	42 404	46 029	49 576	52 390	55 060	57 740	60 006	62 419	64 836	69 457
Puno	22 074	23 340	24 304	25 135	25 642	25 874	26 452	28 062	29 889	31 645	34 169	37 074	40 543	43 477	45 056	46 200	47 696	49 387	51 041	52 689	53 692	55 720
San Martín	4 603	4 837	4 846	10 384	10 277	10 156	10 033	9 969	9 917	9 977	10 151	10 418	10 926	11 271	11 648	12 047	12 358	12 669	13 052	13 491	13 957	14 269
Tacna	26 563	28 557	29 688	29 959	30 549	31 119	32 011	33 944	35 911	38 457	40 465	42 318	44 430	45 960	47 180	48 201	49 382	50 858	52 161	53 271	53 978	58 892
Tumbes	2 782	2 842	2 934	2 954	2 958	3 009	3 025	3 042	3 040	3 054	3 086	3 119	3 257	3 320	3 372	3 415	3 451	3 423	3 375	3 313	3 246	3 181
Ucayali	5 816	6 184	6 183	7 402	7 327	7 255	7 212	7 383	7 441	7 441	7 481	7 679	7 987	8 319	8 745	9 052	9 310	9 608	9 918	10 310	10 669	11 315

Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2022)

Se ha generado una curva exponencial con los datos recopilados del parque automotor en circulación en la ciudad de Piura. A continuación, en la Figura 108 se muestra la gráfica resultante.

Figura 108

Crecimiento del parque automotor en circulación de la ciudad de Piura



Esta gráfica muestra una visualización de la tendencia de crecimiento del parque automotor en la ciudad de Piura con el paso de los años. Como se puede observar en la ecuación de la Figura 108, la tasa de crecimiento anual es de 4.41%.

En base a esto, se ha realizado una proyección del aumento de tráfico para los próximos cinco años, tomando como base el volumen actual del año 2022. En la Tabla 36 se muestran los resultados obtenidos a futuro.

Tabla 36*Crecimiento del parque automotor proyectado a un futuro de 5 años*

Accesos a la Red	Año Base		Años Proyectados			
	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Av. Grau acceso oeste - este	1592	1662	1736	1812	1892	1975
Av. vice Sur-Norte	1254	1309	1367	1427	1490	1556
Av. vice Norte-sur	1496	1562	1631	1703	1778	1856
Gulman Sur norte	1217	1271	1327	1385	1446	1510
Gulman Norte a sur	1812	1892	1975	2062	2153	2248
San Martín Sur-Norte	931	972	1015	1060	1106	1155
Av. Grau acceso este - oeste	1064	1111	1160	1211	1264	1320
San Martín Norte-sur	710	741	774	808	844	881
Jirón piura sur-norte	24	25	26	27	29	30
Calle Las lomas norte-sur	51	53	56	58	61	63
Calle Las lomas sur-norte	44	46	48	50	52	55
Jirón Tomás Cortés norte-sur	53	55	58	60	63	66
Jirón Tomás Cortés sur-norte	45	47	49	51	53	56
Calle Tomas Dieguez Norte-sur	26	27	28	30	31	32
Calle Tomas Dieguez Sur-norte	43	45	47	49	51	53
Calle Tonsman Norte-sur	25	26	27	28	30	31
Calle Tonsman Sur-norte	39	41	43	44	46	48
Calle Bolívar	56	58	61	64	67	69

En la Tabla 37 se muestra el detalle del volumen de vehículos proyectado al año 2027. Es importante aclarar que se ha considerado el tráfico desarrollado con un valor de 0, debido a que no se están considerando nuevos viajes atraídos por el funcionamiento de una nueva vía, ni mejoras geométricas en el tramo de estudio. Contrario a la atracción de viajes de todo tipo de vehículos en el tramo de estudio, se ha buscado reducir la circulación de vehículos particulares en la misma, reduciendo la vía a un solo carril para el uso exclusivo del transporte público. El tráfico desarrollado también se ha considerado con un valor de 0 en este escenario, debido que no se ha contemplado ningún cambio o desarrollo significativo en el uso del suelo que pudiera tener como consecuencia el aumento del tráfico. En otras palabras, no se han implementado incentivos para motivar a otros vehículos a utilizar esta vía.

Tabla 37*Volumen de tráfico proyectado a 5 años a futuro*

Accesos	Volumen del año base (2022)	Incremento del tráfico (IT)			Volumen Proyectado a 5 años (2027)
		Crecimiento Normal del tránsito (CNT)	Tráfico desarrollado (TD)	Tráfico Generado (TG)	
Av. Grau acceso oeste - este	1592	383	0	0	1975
Av. vice Sur-Norte	1254	302	0	0	1556
Av. vice Norte-sur	1496	360	0	0	1856
Av. Gulman Sur-norte	1217	293	0	0	1510
Av. Gulman Norte-sur	1812	436	0	0	2248
San Martín Sur-Norte	931	224	0	0	1155
Av. Grau acceso este - oeste	1064	256	0	0	1320
Av. San Martín Norte-sur	710	171	0	0	881
Jirón Piura sur-norte	24	6	0	0	30
Calle Las lomas norte-sur	51	12	0	0	63
Calle Las lomas sur-norte	44	11	0	0	55
Jirón Tomás Cortés norte-sur	53	13	0	0	66
Jirón Tomás Cortés sur-norte	45	11	0	0	56
Calle Tomás Dieguez Norte-sur	26	6	0	0	32
Calle Tomás Dieguez Sur-norte	43	10	0	0	53
Calle Tonsman Norte-sur	25	6	0	0	31
Calle Tonsman Sur-norte	39	9	0	0	48
Calle Bolívar	56	13	0	0	69

Luego de haber calculado el volumen de tráfico proyectado al año 2027, dato esencial para la simulación de la variante del primer escenario, se simuló el escenario propuesto teniendo como resultado la Tabla 38. Los resultados de longitud de cola y niveles de servicio fueron los siguientes:

- En la intersección Av. Grau – Av. Vice se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 147.5 m
- En la intersección Av. Grau – Av. Gulman se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 190.83 m
- En la intersección Av. Grau – Av. San Martín se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 146.52 m
- En la intersección Av. Grau – Av. Vice se obtuvo un nivel de servicio de E

- En la intersección Av. Grau – Av. Gulman se obtuvo un nivel de servicio de F
- En la intersección Av. Grau – Av. San Martín se obtuvo un nivel de servicio de E

Tabla 38

Resultados promedio de los nodos evaluados en la Av. Grau en variante de escenario 1 con proyección al año 2027

Nodo	Movimiento	Total Vehículos en Red	Longitud de Cola (m)	Demoras en Vehículos (seg)	Nivel de Servicio
Av. Vice	NW-SE	888.00	230.83	125.24	F
	NW-N	222.00	230.83	217.60	F
	NW-SW	84.00	230.83	97.52	F
	SE-NW	1250.00	41.08	32.56	C
	SE-N	349.00	41.08	31.93	C
	SE-SW	84.00	41.08	42.09	D
	N-SE	168.00	195.74	175.29	F
	N-NW	241.00	195.74	72.52	E
	N-SW	863.00	195.74	97.15	F
	SW-SE	190.00	122.35	47.46	D
	SW-NW	143.00	122.35	94.96	F
	SW-N	1183.00	122.35	57.36	E
	Total	5663.00	147.50	77.78	E
Av. Gulman	W-E	918.00	63.19	61.71	E
	W-NE	54.00	63.19	116.75	F
	W-SW	171.00	63.19	60.07	E
	E-W	1097.00	301.79	85.52	F
	E-NE	177.00	301.79	109.73	F
	E-SW	65.00	301.79	112.79	F
	NE-E	275.00	181.75	246.25	F
	NE-W	347.00	181.75	72.95	E
	NE-SW	859.00	181.75	124.14	F
	SW-E	276.00	216.59	77.03	E
	SW-W	292.00	216.59	205.86	F
	SW-NE	884.00	216.59	81.08	F
	Total	5415.00	190.83	99.62	F
Av. San Martín	W-E	1052.00	67.83	51.27	D
	W-S	197.00	67.83	51.16	D
	E-W	1146.00	147.40	67.83	E
	E-S	118.00	147.40	152.27	F
	N-E	158.00	11.05	17.24	B
	N-W	283.00	11.05	19.68	B
	N-S	448.00	11.05	16.86	B
	S-E	318.00	359.79	157.54	F
	S-W	376.00	359.79	262.92	F
	Total	4097.00	146.52	78.85	E

Los tiempos de viaje y la velocidad de los buses de transporte público se pueden observar en la Tabla 39 y fueron los siguientes:

- En el sentido oeste – este se obtuvo un tiempo de viaje de 10.02 min y una velocidad de 9.77 km/h.
- En el sentido este – oeste se obtuvo un tiempo de viaje de 10.38 min y una velocidad de 9.42 km/h.

Tabla 39

Velocidad promedio del transporte público Av. Grau en variante de escenario 1 con proyección al año 2027

Sentidos	Tiempo en min (Micros)	Velocidad Km/h (Micros)
Mov. Oeste - Este	10.02	9.77
Mov. Este - Oeste	10.38	9.42

4.8 Simulación de segundo escenario: Implementación de carril bus

En el segundo escenario se ha implementado un carril segregado exclusivo para buses en el lado derecho de la vía en el año 2022 y también con una variante de proyección de tráfico a futuro al 2027. Para ambas situaciones del segundo escenario se han mantenido los ciclos semafóricos existentes y el comportamiento actual de subida y parada de pasajeros en cualquier punto de la avenida, esto con el fin de evaluar si ocurren mejoras con solo la implementación del carril bus en la avenida. Este escenario propone una iniciativa para la toma de medidas sostenibles ante la problemática de la congestión vehicular.

De la simulación del segundo escenario que considera la implementación de carril bus con tráfico basado en el año 2022, se obtuvieron los resultados de longitud de cola y niveles de servicio de la Tabla 40 y fueron los siguientes:

- En la intersección Av. Grau – Av. Vice se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 188.82 m
- En la intersección Av. Grau – Av. Gulman se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 144.86 m
- En la intersección Av. Grau – Av. San Martín se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 168.69 m
- En la intersección Av. Grau – Av. Vice se obtuvo un nivel de servicio de E
- En la intersección Av. Grau – Av. Gulman se obtuvo un nivel de servicio de F
- En la intersección Av. Grau – Av. San Martín se obtuvo un nivel de servicio de E

Tabla 40*Resultados promedio de los nodos evaluados en la Av. Grau en escenario 02*

Nodo	Movimiento	Total Vehículos en Red	Longitud de Cola (m)	Demoras en Vehículos (seg)	Nivel de Servicio
Av. Vice	NW-N	117	219.55	170.82	F
	NW-SW	4	219.55	10.95	B
	NW-SE	452	219.55	150.01	F
	SE-NW	833	317.05	49.38	D
	SE-SW	55	317.05	56.81	E
	N-SW	1,000	63.18	41.23	D
	N-SE	198	63.18	67.01	E
	N-NW	285	63.18	33.84	C
	SW-NW	116	158.12	137.96	F
	SW-N	923	158.12	96.90	F
	SW-SE	148	158.12	86.67	F
	NW-SW	43	72.79	138.44	F
	SE-N	240	302.21	48.39	D
	Total	4,414	188.82	73.71	E
Av. Gulman	W-E	561	39.66	37.45	D
	W-NE	30	39.66	53.72	D
	W-SE	46	39.66	40.62	D
	E-SW	41	233.75	50.86	D
	E-W	648	233.75	52.17	D
	NE-E	339	84.12	86.90	F
	NE-SW	979	84.12	63.83	E
	NE-W	387	84.12	81.54	F
	SW-E	195	280.06	87.78	F
	SW-NE	623	280.06	117.75	F
	SW-W	153	280.06	584.57	F
	E-NE	306	230.43	41.18	D
	W-SW	106	1.15	24.24	C
	Total	4,415	144.86	84.20	F
Av. San Martin	E-S	63	427.23	105.66	F
	E-W	607	427.23	86.65	F
	N-E	118	40.04	21.46	C
	N-S	331	40.04	20.69	C
	N-W	206	40.04	30.32	C
	S-E	1	345.91	202.57	F
	S-W	261	345.91	299.74	F
	S-E	207	345.91	214.03	F
	W-E	818	27.45	21.12	C
	W-S	153	2.83	19.73	B
	Total	2,763	168.69	75.16	E

Los tiempos de viaje y la velocidad de los buses de transporte público se pueden observar en la Tabla 41 y fueron los siguientes:

- En el sentido oeste – este se obtuvo un tiempo de viaje de 5.03 min y una velocidad de 19.43 km/h.
- En el sentido este – oeste se obtuvo un tiempo de viaje de 5.21 min y una velocidad de 18.77 km/h.

Tabla 41

Velocidad promedio del transporte público Av. Grau en escenario 02

Sentidos	Tiempo en min (Micros)	Velocidad Km/h (Micros)
Mov. Oeste - Este	5.03	19.43
Mov. Este - Oeste	5.21	18.77

Se obtuvieron también los resultados de longitud de cola y niveles de servicio de la variante del segundo escenario considerando la implementación del carril bus con un tráfico proyectado a 5 años, los cuales se pueden observar en la Tabla 42 y fueron los siguientes:

- En la intersección Av. Grau – Av. Vice se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 213.97 m
- En la intersección Av. Grau – Av. Gulman se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 218.37 m
- En la intersección Av. Grau – Av. San Martín se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 183.24 m
- En la intersección Av. Grau – Av. Vice se obtuvo un nivel de servicio de F
- En la intersección Av. Grau – Av. Gulman se obtuvo un nivel de servicio de F
- En la intersección Av. Grau – Av. San Martín se obtuvo un nivel de servicio de F

Tabla 42

Resultados promedio de los nodos evaluados en la Av. Grau en variante de escenario 2 con proyección al año 2027

Nodo	Movimiento	Total Vehículos en Red	Longitud de Cola (m)	Demoras en Vehículos (seg)	Nivel de Servicio
Av. Vice	NW-N	88	223.34	170.57	F
	NW-SW	3	223.34	8.71	A
	NW-SE	344	223.34	141.63	F
	SE-NW	737	336.72	47.61	D
	SE-SW	48	336.72	54.67	D
	N-SW	995	159.76	75.32	E
	N-SE	191	159.76	79.69	E
	N-NW	278	159.76	61.95	E
	SW-NW	91	217.81	185.48	F
	SW-N	735	217.81	131.09	F
	SW-SE	112	217.81	113.58	F
	NW-SW	33	51.97	131.60	F
	SE-N	205	294.23	45.26	D
	Total	3,859	213.97	93.72	F
Av. Gulman	W-E	460	135.05	42.68	D
	W-NE	25	135.05	61.46	E
	W-SE	39	135.05	49.53	D
	E-SW	34	271.21	53.86	D
	E-W	559	271.21	51.13	D
	NE-E	280	168.25	113.50	F
	NE-SW	808	168.25	98.05	F
	NE-W	313	168.25	116.58	F
	SW-E	148	466.42	116.98	F
	SW-NE	467	466.42	158.38	F
	SW-W	119	466.42	663.06	F
	E-NE	268	268.19	44.51	D
	W-SW	89	1.09	32.06	C
	Total	3,608	218.37	98.78	F
Av. San Martin	E-S	55	431.91	114.04	F
	E-W	530	431.91	96.98	F
	N-E	133	73.27	25.54	C
	N-S	377	73.27	26.44	C
	N-W	233	73.27	47.44	D
	S-E	1	380.60	326.42	F
	S-W	159	380.60	440.19	F
	S-E	133	380.60	298.73	F
	W-E	719	27.24	21.03	C
	W-S	135	3.18	20.41	C
	Total	2,474	183.24	90.61	F

Los tiempos de viaje y la velocidad de los buses de transporte público se pueden observar en la Tabla 43 y fueron los siguientes:

- En el sentido oeste – este se obtuvo un tiempo de viaje de 5.17 min y una velocidad de 18.92 km/h.
- En el sentido este – oeste se obtuvo un tiempo de viaje de 5.27 min y una velocidad de 18.56 km/h.

Tabla 43

Velocidad promedio del transporte público Av. Grau en variante de escenario 2 con proyección al año 2027

Sentidos	Tiempo en min (Micros)	Velocidad Km/h (Micros)
Mov. Oeste - Este	5.17	18.92
Mov. Este - Oeste	5.27	18.56

4.9 Simulación de tercer escenario: Implementación de carril bus con tendencia a la disminución de vehículos particulares

En el tercer escenario se ha considerado la implementación de un carril bus segregado en el lado derecho de la vía, aplicando una reducción sobre el tráfico actual del 15% del volumen de autos y camionetas y una reducción del 100% del volumen de motos y mototaxis. La diferencia entre este escenario y el escenario dos, es que se han considerado en la simulación medidas complementarias a solo la implementación del carril bus en la avenida, como la reducción parcial del tráfico de vehículos particulares, la reducción total de motos y mototaxis y la implementación de paraderos para buses de transporte público. Con estas medidas complementarias se busca que los usuarios encuentren más atractivo el transporte público por el tiempo de llegada, la accesibilidad, la seguridad y por la comodidad del servicio, de esta forma se migraría poco a poco desde el transporte particular hacia el transporte público, así Piura se convertiría, con el tiempo, en una ciudad con enfoque sostenible.

Al igual que en los escenarios anteriores, este escenario se ha evaluado en el año 2022 y con una variante a futuro de cinco años. En ambas situaciones se ha tenido en cuenta los tiempos semafóricos existentes, y se diseñarán y ubicarán estratégicamente paraderos a lo largo del tramo piloto.

Debido a que se considerará que en futuro existirá una tendencia a la disminución del uso de vehículos particulares, para obtener este porcentaje de disminución, se tomó como base el estudio realizado por Kuss y Nicholas (2022), quienes presentan doce iniciativas que han funcionado de forma eficaz en distintas ciudades del mundo para reducir el uso de vehículos particulares. Según este estudio, se tiene una disminución entre el 11% y 19% al eliminar los estacionamientos de autos ubicados en la vía. Actualmente, lo largo de la av. Grau, muchos vehículos, entre autos, mototaxis y motos lineales, se estacionan en el carril derecho

para esperar pasajeros o para dejar el vehículo estacionado mientras se dirigen a hacer compras o realizar algún trámite. Tomando en cuenta la implementación del carril bus, los vehículos ya no tendrían este espacio a su disposición, por lo que se ha considerado un promedio de 15% de disminución de vehículos de transporte privado para este escenario, teniendo como resultado la Tabla 44.

Otra de las medidas complementaras tomadas en este escenario ha sido la prohibición de la circulación de mototaxis y motos lineales en la Av. Grau. Actualmente, el anillo vial en la ciudad de Piura, el cual regula la circulación de mototaxis en el centro de la ciudad, se ha reducido según la Ordenanza Municipal N° 229-03-CMPP con fecha 19 de junio de 2023. Con la prohibición de mototaxis y además motos lineales en la avenida en estudio, se ha buscado reducir el desorden vehicular que generan estos vehículos, los cuales operan con imprudencia y su presencia forma parte de la problemática que se quiere solucionar.

Tabla 44

Volumen de tráfico año 2022 reducido en 15%

Accesos	Volumen año base (2022)	Volumen reducido en 15%
Av. Grau acceso oeste - este	1592	1354
Av. vice Sur-Norte	1254	1066
Av. vice Norte-sur	1496	1272
Av. Gulman Sur-norte	1217	1035
Av. Gulman Norte-sur	1812	1541
San Martin Sur-Norte	931	792
Av. Grau acceso este - oeste	1064	905
Av. San Martin Norte-sur	710	604
Jirón Piura sur-norte	24	21
Calle Las lomas norte-sur	51	44
Calle Las lomas sur-norte	44	38
Jirón Tomás Cortés norte-sur	53	46
Jirón Tomás Cortés sur-norte	45	39
Calle Tomas Dieguez Norte-sur	26	23
Calle Tomas Dieguez Sur-norte	43	37
Calle Tonsman Norte-sur	25	22
Calle Tonsman Sur-norte	39	34
Calle Bolívar	56	48

Con el volumen reducido en un 15% obtenido en la Tabla 44, y con la reducción total de las motos y mototaxis en la Av. Grau, se ha realizado la simulación del tercer escenario basado en el año 2022. Los resultados obtenidos de longitud de cola y niveles de servicio se muestran en la Tabla 45 y fueron los siguientes:

- En la intersección Av. Grau – Av. Vice se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 125.29 m
- En la intersección Av. Grau – Av. Gulman se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 91.72 m
- En la intersección Av. Grau – Av. San Martín se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 153.05 m
- En la intersección Av. Grau – Av. Vice se obtuvo un nivel de servicio de D
- En la intersección Av. Grau – Av. Gulman se obtuvo un nivel de servicio de D
- En la intersección Av. Grau – Av. San Martín se obtuvo un nivel de servicio de E



Tabla 45*Resultados promedio de los nodos evaluados en la Av. Grau en escenario 03*

Nodo	Movimiento	Total Vehículos en Red	Longitud de Cola (m)	Demoras en Vehículos (seg)	Nivel de Servicio
1: Av Vice	NW-N	82	214.12	136.77	F
	NW-SW	5	214.12	11.01	B
	NW-SE	337	214.12	117.05	F
	SE-NW	618	257.62	42.81	D
	SE-SW	36	257.62	61.98	E
	N-SW	1,128	22.06	20.72	C
	N-SE	66	22.06	35.90	D
	N-NW	136	22.06	21.26	C
	SW-NW	69	20.83	46.47	D
	SW-N	998	20.83	22.63	C
	SW-SE	60	20.83	23.26	C
	NW-SW	37	24.61	92.47	F
	SE-N	191	212.52	39.63	D
	Total	3,762	125.29	38.53	D
2: Av Gulman	W-E	340	39.72	35.23	D
	W-NE	19	39.72	57.58	E
	W-SE	29	39.72	42.11	D
	E-SW	40	216.03	48.28	D
	E-W	618	216.03	43.39	D
	NE-E	140	63.06	70.77	E
	NE-SW	1,297	63.06	57.35	E
	NE-W	158	63.06	58.46	E
	SW-E	77	34.57	31.93	C
	SW-NE	949	34.57	32.70	C
	SW-W	78	34.57	128.25	F
	E-NE	289	193.53	34.19	C
	W-SW	83	3.43	26.49	C
	Total	4,117	91.72	46.72	D
3: Av San Martin	E-S	81	384.36	61.41	E
	E-W	709	384.36	59.81	E
	N-E	57	11.65	29.55	C
	N-S	519	11.65	27.33	C
	N-W	66	11.65	32.22	C
	S-E	1	354.09	136.53	F
	S-W	230	354.09	256.62	F
	S-E	168	354.09	189.48	F
	W-E	439	13.62	16.91	B
	W-S	98	1.51	15.33	B
	Total	2,367	153.05	67.50	E

Los tiempos de viaje y la velocidad de los buses de transporte público se pueden observar en la Tabla 46 y fueron los siguientes:

- En el sentido oeste – este se obtuvo un tiempo de viaje de 5.01 min y una velocidad de 19.52 km/h.
- En el sentido este – oeste se obtuvo un tiempo de viaje de 5.21 min y una velocidad de 18.78 km/h.

Tabla 46

Velocidad promedio del transporte público Av. Grau en escenario 03

Sentidos	Tiempo en min (Micros)	Velocidad Km/h (Micros)
Mov. Oeste - Este	5.01	19.52
Mov. Este - Oeste	5.21	18.78

Así mismo, se realizó la simulación de la variante de este escenario con una reducción del 15% del volumen proyectado al año 2027, el cual se calculó en la Tabla 47.

Tabla 47

Volumen de tráfico año 2027 reducido en 15%

Accesos	Volumen año 2027	Volumen reducido en 15%
Av. Grau acceso oeste - este	1975	1679
Av. vice Sur-Norte	1556	1323
Av. vice Norte-sur	1856	1578
Av. Gulman Sur-norte	1510	1284
Av. Gulman Norte-sur	2248	1911
San Martin Sur-Norte	1155	982
Av. Grau acceso este - oeste	1320	1122
Av. San Martin Norte-sur	881	749
Jirón Piura sur-norte	30	26
Calle Las lomas norte-sur	63	54
Calle Las lomas sur-norte	55	47
Jirón Tomás Cortés norte-sur	66	57
Jirón Tomás Cortés sur-norte	56	48
Calle Tomas Dieguez Norte-sur	32	28
Calle Tomas Dieguez Sur-norte	53	46
Calle Tonsman Norte-sur	31	27
Calle Tonsman Sur-norte	48	41
Calle Bolívar	69	59

Los resultados de longitud de cola y niveles de servicio obtenidos en la variante de este tercer escenario se muestran en la Tabla 48 y fueron los siguientes:

- En la intersección Av. Grau – Av. Vice se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 149.83 m
- En la intersección Av. Grau – Av. Gulman se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 101.16 m
- En la intersección Av. Grau – Av. San Martín se obtuvo una longitud de cola promedio entre todos los accesos de 163.47 m
- En la intersección Av. Grau – Av. Vice se obtuvo un nivel de servicio de D
- En la intersección Av. Grau – Av. Gulman se obtuvo un nivel de servicio de E
- En la intersección Av. Grau – Av. San Martín se obtuvo un nivel de servicio de E



Tabla 48

Resultados promedio de los nodos evaluados en la Av. Grau en variante de escenario 3 con proyección al año 2027

Nodo	Movimiento	Total Vehículos en Red	Longitud de Cola (m)	Demoras en Vehículos (seg)	Nivel de Servicio
Av. Vice	NW-N	73	216.76	159.09	F
	NW-SW	4	216.76	9.87	A
	NW-SE	295	216.76	137.10	F
	SE-NW	652	273.78	40.45	D
	SE-SW	37	273.78	52.97	D
	N-SW	1,322	53.49	34.98	C
	N-SE	79	53.49	68.28	E
	N-NW	161	53.49	30.50	C
	SW-NW	81	81.69	117.18	F
	SW-N	1,192	81.69	52.26	D
	SW-SE	72	81.69	45.07	D
	NW-SW	32	39.70	115.21	F
	SE-N	204	233.60	37.99	D
	Total	4,204	149.83	52.85	D
Av. Gulman	W-E	339	30.57	29.98	C
	W-NE	19	30.57	49.82	D
	W-SE	29	30.57	33.88	C
	E-SW	41	208.70	41.92	D
	E-W	615	208.70	42.52	D
	NE-E	160	113.21	105.79	F
	NE-SW	1,500	113.21	75.29	E
	NE-W	188	113.21	69.41	E
	SW-E	88	57.42	35.93	D
	SW-NE	1,104	57.42	35.74	D
	SW-W	93	57.42	245.91	F
	E-NE	291	195.11	35.52	D
	W-SW	82	1.96	19.08	B
	Total	4,547	101.16	57.12	E
Av. San Martin	E-S	81	406.69	63.62	E
	E-W	715	406.69	57.70	E
	N-E	68	13.10	26.49	C
	N-S	615	13.10	25.38	C
	N-W	77	13.10	28.45	C
	S-E	1	381.75	167.06	F
	S-W	207	381.75	297.29	F
	S-E	157	381.75	221.34	F
	W-E	472	13.82	16.93	B
	W-S	108	1.99	15.33	B
	Total	2,501	163.47	65.53	E

Los tiempos de viaje y la velocidad de los buses de transporte público se pueden observar en la Tabla 49 y fueron los siguientes:

- En el sentido oeste – este se obtuvo un tiempo de viaje de 5.01 min y una velocidad de 19.53 km/h.
- En el sentido este – oeste se obtuvo un tiempo de viaje de 5.11 min y una velocidad de 19.13 km/h.

Tabla 49

Velocidad promedio del transporte público Av. Grau en variante de escenario 3 con proyección al año 2027

Sentidos	Tiempo en min (Micros)	Velocidad Km/h (Micros)
Mov. Oeste - Este	5.01	19.53
Mov. Este - Oeste	5.11	19.13



Capítulo 5

Análisis de resultados y mejoras complementarias

5.1 Comparación de resultados obtenidos de los tres escenarios

En este capítulo se analizaron los resultados obtenidos sobre la viabilidad de implementar carriles exclusivos para los buses de transporte público en un tramo piloto de la Av. Grau. Como se ha mencionado anteriormente, durante el desarrollo de esta investigación, se han evaluado tres escenarios distintos, cada uno con una variante específica de proyección de tráfico.

Además de considerar el estado actual de la vía y su respuesta inmediata a la propuesta, se optó por proyectar cada uno de los escenarios a un horizonte de hasta cinco años, con el propósito de evaluar no solo el impacto inmediato de las propuestas, sino también que estas puedan adaptarse y mantener su sostenibilidad y eficacia a largo plazo.

El primer escenario representa la situación actual de la vía, con la variante de proyección de tráfico a cinco años. El segundo escenario se basa en la implementación del carril bus en las condiciones geométricas y de tráfico actuales, considerando una proyección similar a cinco años. Finalmente, el tercer escenario, por su parte, esquematiza la propuesta del carril bus, pero con medidas de restricción para el tráfico de autos privados, mototaxis y motos lineales, igualmente con una variante de proyección a cinco años.

En la Tabla 50 se presenta los principales parámetros del tramo analizado y permite la comparación entre cada uno de los escenarios y sus respectivas variantes.

Tabla 50*Cuadro comparativo de resultados de los tres escenarios*

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MICROSIMULACIÓN							
Parámetro de evaluación	Unidad de medida	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
		Año 2022	Proyección al año 2027	Año 2022	Proyección al año 2027	Año 2022	Proyección al año 2027
Longitud de cola (Vice)	Metros	93.21	147.50	188.82	213.97	125.29	149.83
Longitud de cola (Gulman)	Metros	100.46	190.83	144.86	218.37	91.72	101.16
Longitud de cola (San Martín)	Metros	38.43	146.52	168.69	183.24	153.05	163.47
Nivel de servicio (Vice)	-	E	E	E	F	D	D
Nivel de servicio (Gulman)	-	E	F	F	F	D	E
Nivel de servicio (San Martín)	-	D	E	E	F	E	E
Tiempo de viaje de Servicio Público (O-E)	Minutos	7.64	10.02	5.03	5.17	5.01	5.01
Tiempo de viaje de Servicio Público (E-O)	Minutos	7.39	10.38	5.21	5.27	5.21	5.11
Velocidad de Servicio de transporte público	Kilómetros/hora	12.81	9.77	19.43	18.92	19.52	19.53
Velocidad de Servicio de transporte público	Kilómetros/hora	13.23	9.42	18.77	18.56	18.78	19.13

5.1.1 Comparativa de longitud de cola**a) Año 2022**

- Primer escenario - Situación Actual: La longitud de cola indicó congestión y tiempos de espera significativos para los conductores de la vía; esto respalda la necesidad de tomar medidas para mejorar la movilidad en la Av. Grau, aunque el enfoque de priorizar los buses de transporte público no alivie la congestión vehicular en su totalidad.
- Segundo escenario - Implementación de carril bus en condiciones actuales: A pesar de que se observó un aumento en la longitud de cola en comparación con la situación actual, es necesario considerar que la implementación del carril bus forma parte de una estrategia a largo plazo. Si bien en el corto plazo no se reduce de manera significativa la congestión, este escenario sienta las bases para un sistema de transporte más sostenible.
- Tercer escenario – Carril bus restringiendo el uso de vehículos privados, mototaxis y motos lineales: Se observó que la longitud de cola es menor que en el segundo escenario, lo que indica que las restricciones del uso de vehículos privados, mototaxis y motos lineales podrían ser una opción efectiva para reducir en parte la congestión y dar prioridad a los buses de transporte público. Esto respalda la propuesta de carril bus, ya que se espera que con el pasar del tiempo, cada vez sean más personas las que migren hacia este sistema de transporte, reduciendo la cantidad de vehículos en la vía.

b) Año 2027

- Primer escenario - Situación Actual: Con el pasar de los años, y con las mismas condiciones actuales de tráfico con preferencia hacia el transporte privado, se obtuvo un aumento significativo en la longitud de cola, lo cual subraya la necesidad de tomar medidas para mejorar la situación del tráfico en la Av. Grau con un enfoque sostenible. El incremento de la longitud de cola en este escenario, es un indicador clave de la importancia de actuar.
- Segundo escenario - Implementación de carril bus en condiciones actuales: Al año 2027, la implementación del carril bus sin medidas de restricción de vehículos, resulta en un aumento significativo en la longitud de cola con el paso del tiempo y en comparación con el primer escenario.
- Tercer escenario – Carril bus restringiendo el uso de vehículos privados, mototaxis y motos lineales: Se observó menor longitud de cola en comparación con el segundo escenario, esto respalda la idea de que restringir el uso de vehículos privados, mototaxis y motos lineales, sí resulta efectivo para mejorar la circulación vial brindando prioridad a los buses de transporte público. Si bien la longitud de cola es ligeramente mayor en este escenario comparado con el primero, se debe tener en cuenta que ha ocurrido la reducción de un carril para los vehículos particulares, por lo que se recalca que objetivo del presente trabajo no es solo aliviar la congestión, sino también priorizar los buses de transporte público e impulsar una movilidad sostenible en la ciudad.

5.1.2 Comparativa de niveles de servicio

a) Año 2022

- Primer escenario - Situación Actual: Los niveles de servicio en la Av. Grau son evaluados como E para las intersecciones con la Av. Vice y Av. Gulman, lo que significa que existe una operación cercana al límite de la capacidad, con un flujo inestable, y los conductores experimentan cierta congestión en estas intersecciones. En la intersección con Av. San Martín, el nivel de servicio es D, lo que representa que el flujo está próximo a ser inestable y los conductores tienen poca libertad para maniobrar.
- Segundo escenario - Implementación de carril bus en condiciones actuales: Con solo la implementación del carril bus, los niveles de servicio no reflejan una mejora en ninguna de las tres intersecciones. En las Av. Gulman y las Av. San Martín el nivel de servicio empeora, lo que sugiere una congestión mayor que el primer escenario. Este escenario sienta las bases para mejoras a largo plazo.
- Tercer escenario – Carril bus restringiendo el uso de vehículos privados, mototaxis y motos lineales: En este escenario, el nivel de servicio en las intersecciones con la Av. Vice y Av. Gulman experimentan una mejora alcanzando un nivel de servicio D. Esto

respalda la idea de que restringir el uso de vehículos privados, mototaxis y motos lineales es una estrategia efectiva para mejorar la operación en estas intersecciones.

b) Año 2027

- Primer escenario - Situación Actual: Al año 2027, se observó cómo los niveles de servicio empeoran. En la intersección con Av. Vice permanece en el nivel E, mientras que en las intersecciones con Av. Gulman y Av. San Martín empeoran de un nivel de servicio E a F y D a E, respectivamente.
- Segundo escenario - Implementación de carril bus en condiciones actuales: En este escenario proyectado al año 2027, los niveles de servicio continúan siendo críticos. Las tres intersecciones tienen un nivel de servicio F, lo que indica mayor congestión en el futuro comparado con el primer escenario.
- Tercer escenario – Carril bus restringiendo el uso de vehículos privados, mototaxis y motos lineales: Para un horizonte al año 2027, este escenario representó niveles de servicio más favorables que los otros dos escenarios, teniendo en la intersección con Av. Vice un nivel de servicio D y la intersección con Av. Gulman un nivel de servicio E. La intersección con Av. San Martín se mantiene con un nivel de servicio E. A pesar de que persiste cierto grado de congestión, existe una ligera mejora en comparación con los otros escenarios.

Los niveles de servicio revelaron un grado de deterioro progresivo en la situación del tráfico a largo del tiempo en todos los escenarios, lo cual, enfatizó la urgencia de tomar medidas. Si bien no se ha logrado una mejora significativa a corto plazo de los niveles de servicio de las intersecciones, cabe recalcar que las medidas sostenibles tienen resultados a largo plazo, por lo que se espera que los usuarios de vehículos privados, al ver una mejora en el servicio de los buses de transporte público y en una ciudad orientada a la movilidad sostenible, migren poco a poco hacia el transporte público.

5.1.3 Comparativa de tiempos de viaje de buses de transporte público

a) Año 2022

- Primer escenario - Situación Actual: Los tiempos de viaje actuales de los buses muestran un valor de 7.64 minutos en el sentido oeste-este y 7.39 minutos en el sentido este-oeste. Estos tiempos reflejan una eficiencia relativamente aceptable en los buses de transporte público.
- Segundo escenario - Implementación de carril bus en condiciones actuales: Con la implementación del carril bus, los tiempos de viaje de los buses de transporte público reflejaron una mejora en el año 2022, con unos resultados de 5.03 minutos en el sentido oeste-este y 5.21 minutos en el sentido contrario. Esta reducción en los

tiempos de viaje respalda la idea de que la implementación del carril bus tiene un impacto positivo en la eficiencia del transporte público a corto plazo.

- Tercer escenario – Carril bus restringiendo el uso de vehículos privados, mototaxis y motos lineales: Debido a que no hay diferencia de condiciones para los carriles bus en comparación con el segundo escenario, pues la restricción se da para el carril compartido, este escenario reflejó resultados similares a la mejora en los tiempos de viaje de los buses de transporte público, con 5.01 minutos en el sentido oeste-este y 5.21 minutos en el sentido este-oeste.

b) Año 2027

- Primer escenario - Situación Actual: Al año 2027, los tiempos de viaje aumentan a 10.02 minutos en el sentido oeste-este y 10.38 minutos en el sentido este-oeste, lo que indica buses de transporte público más lentos y aumenta la necesidad de abordar la eficiencia del transporte público a largo plazo.
- Segundo escenario - Implementación de carril bus en condiciones actuales: En el año 2027, a pesar de un aumento en los tiempos de viaje en comparación con 2022, estos tiempos siguen siendo relativamente bajos, se obtuvieron resultados de 5.17 minutos en el sentido oeste-este y 5.27 minutos en el sentido contrario. Esto indica una estabilidad en la eficiencia del transporte público.
- Tercer escenario – Carril bus restringiendo el uso de vehículos privados, mototaxis y moto lineales: Para el año 2027, los tiempos de viaje se mantienen bajos, con 5.01 minutos en el sentido oeste-este y 5.11 minutos en el sentido este-oeste. Lo que demuestra que, en este escenario, los tiempos de viaje de los buses continúan siendo eficiente en comparación con otros escenarios.

Estos resultados reflejaron que la implementación de carriles bus, ya sea en condiciones actuales o con restricciones en el uso de vehículos privados y mototaxis, conlleva a una mejora significativa en los tiempos de viaje de los buses de transporte público en comparación con la situación de los mismos en el escenario actual.

5.1.4 Comparativa de velocidades de buses de transporte público

a) Año 2022

- Primer escenario - Situación Actual: Se observaron flujos de tráfico relativamente lentos en el tramo de estudio. En el sentido oeste-este 12.81 km/h y 13.23 km/h en el sentido este-oeste. Estos resultados indican un flujo de tráfico relativamente lento en ambas direcciones.
- Segundo escenario - Implementación de carril bus en condiciones actuales: Con la implementación del carril bus, mejoraron de manera significativa los tiempos de viaje, alcanzando velocidades de 19.43 km/h en el sentido oeste-este y 18.77 km/h en el

sentido contrario, lo que indica una notable mejora en la velocidad del transporte público.

- Tercer escenario – Carril bus restringiendo el uso de vehículos privados, mototaxis y motos lineales: En este escenario son también favorables, se tienen velocidades de 19.52 km/h en el sentido oeste-este y 18.78 km/h en el sentido este-oeste.

b) Año 2027

- Primer escenario - Situación Actual: A medida que se avanza al año 2027, las velocidades de los buses de transporte disminuyen a 9.77 km/h y 9.42 km/h para los sentidos oeste-este y este-oeste, respectivamente. Esto indicó una disminución sobre las condiciones actuales en la eficiencia del transporte público.
- Segundo escenario - Implementación de carril bus en condiciones actuales: Las velocidades mejoran, con 18.92 km/h para el sentido oeste-este y 18.56 km/h para el sentido este-oeste. Esto reflejó la mejora de las velocidades de los buses en el carril bus en comparación con el primer escenario.
- Tercer escenario – Carril bus restringiendo el uso de vehículos privados, mototaxis y motos lineales: Para el año 2027, este escenario representó tiempos de viaje igualmente favorables que el segundo escenario con respecto a los buses de transporte público, con velocidades de 19.53 km/h en el sentido oeste-este y 19.13 km/h en el sentido contrario.

Estos resultados, reflejaron que la implementación de carriles bus, ya sea en condiciones actuales o con restricciones de vehículos privados, mototaxis y motos lineales, conlleva a una mejora significativa en los tiempos de viaje de los buses de transporte público en comparación con el escenario de la situación actual.

Además, los resultados sugieren que la implementación de carriles bus y restricciones al uso de vehículos privados generará una redistribución del tráfico en el tramo de estudio. Es decir, los conductores buscarán rutas alternas y una mayor cantidad de personas optaría por utilizar el transporte público. De este modo, al tener menos vehículos en la avenida Grau, se esperaría una reducción de las emisiones de gases contaminantes, teniendo un impacto positivo en la calidad del aire de la zona, mejorando la calidad de vida de los residentes, asimismo se disminuirán los niveles de ruido en la vía, creando un ambiente más confortable para los peatones y residentes.

Finalmente, el carril bus ha demostrado su capacidad de acelerar de manera significativa los tiempos de viaje de los usuarios de transporte público; esto se debe principalmente a dos factores que son puntualidad y eficiencia. La puntualidad, al garantizar que los usuarios lleguen a sus destinos en menor tiempo y la eficiencia, al lograr que estos viajes sean más rápidos y sin contratiempos. Estos aspectos influyen de manera directa en la

decisión de las personas de migrar de manera gradual de sus vehículos particulares al transporte público.

5.2 Mejoras adicionales

Se propone que la implementación de carril bus no se limite únicamente a la demarcación de un carril segregado y a la restricción del espacio de circulación vehicular, sino que también debe ser innovador y atractivo al público en general, con el objetivo de maximizar su eficacia y gestión.

En este sentido, se presentan las siguientes medidas adicionales que deben ser consideradas para garantizar la correcta implementación y el exitoso funcionamiento de este proyecto.

5.2.1 Maniobras permitidas con la implementación de carril bus

Para el proyecto de implementación de carril bus es necesario establecer las maniobras permitidas a lo largo de la avenida, con el fin de que tanto conductores, usuarios de transporte público, peatones, entre otros, tengan claro lo que está permitido y lo que no se debe hacer. Dejar en claro las maniobras permitidas y su correcta difusión al público en general, permite brindar un servicio mejor, menor congestión vehicular y mayor seguridad vial.

La Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá (2017) brinda información a los ciudadanos acerca de las condiciones para que otro tipo de vehículo pueda utilizar el carril bus, detallando la forma correcta de maniobrar en este carril preferencial:

- Los taxis no deben estacionarse ni realizar espera corta o larga de usuarios sobre el carril preferencial. Por lo cual, deberán procurar recoger y dejar pasajeros en las vías transversales al corredor.
- Los vehículos que circulan por el carril mixto que deseen girar hacia la derecha deberán encender sus luces direccionales por lo menos 20 metros antes de la maniobra, ubicarse en el carril derecho y girar solo en los puntos señalizados de la vía.
- Para el ingreso a una propiedad, se debe preparar con antelación, y utilizar la línea punteada para ingresar al carril preferencial. No se debe circular de forma continua e indefinida por el carril preferencial. Al salir de un predio o garaje, se debe encender la direccional y buscar la línea segmentada más cercana para salir y continuar su recorrido por los carriles mixtos.
- Los vehículos tipo ambulancias, cuerpo de bomberos, de socorro o emergencia y de la policía o ejército deberán transitar por el carril central. En caso de presentarse congestión en este carril y si se evidencia capacidad de flujo en el carril preferencial, los vehículos de emergencia podrán hacer uso de él, siempre y cuando se encuentren prestando el servicio y anunciando su presencia por medio de luces, sirenas, campanas o cualquier señal óptica o audible.

5.2.2 Sistema de monitoreo y adaptación

El control y vigilancia desempeñan un papel fundamental en el óptimo funcionamiento del presente proyecto de implementación de carril bus. Por esta razón, se ha considerado esencial la incorporación de inspectores de tránsito a lo largo del recorrido del carril bus.

De acuerdo con lo establecido en el artículo 3° del Reglamento Nacional de Administración de Transporte, un inspector de transporte es una persona debidamente acreditada u homologada por la autoridad competente para llevar a cabo acciones de control, supervisión y detección de incumplimientos o infracciones a las normas del servicio de transporte terrestre.

La función principal de estos inspectores dentro del proyecto consistirá en controlar y fiscalizar el adecuado funcionamiento del sistema de transporte público en el carril bus. Para cumplir con esta tarea, los inspectores deberán recibir capacitación en aspectos como la normativa vigente de transporte y tránsito, protocolo de intervención y seguridad vial, entre otros. Esto les permitirá estar facultados para emitir actas de fiscalización o papeletas a los conductores que infrinjan las normas de tránsito.

La presencia de inspectores de control y vigilancia es imperativa para el éxito de este proyecto, debido a que Piura es una ciudad con poca cultura vial. Esto se ha evidenciado con la reciente implementación de la ciclovía en la avenida Sullana Norte, la cual debería ser de uso exclusivo para ciclistas, pero ha sido invadida por motos lineales y mototaxis (Ver Figura 109). Esta situación subraya la necesidad de contar con fiscalizadores de tránsito que hagan cumplir las normas y así garantizar el funcionamiento correcto del carril exclusivo para buses.

Figura 109

Ciclovía en Av. Sullana Norte invadida por mototaxis



Como ejemplo de esta buena práctica que es la fiscalización, en Lima, la Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU), con el objetivo de realizar acciones de fiscalización que garanticen la seguridad de los usuarios del servicio de transporte público y luchar contra la informalidad, realiza capacitaciones constantes a su personal para que cuenten con los conocimientos y las estrategias necesarias para fiscalizar el cumplimiento de

las normas (Prensa ATU, 2022). Además, gracias sus convenios de cooperación entre municipalidades distritales de Lima, se ha fortalecido los operativos de fiscalización contra las malas prácticas de los conductores. Estos operativos no solo permiten sancionar a las unidades que brindan servicios de manera informal, sino que también imponen multas a los conductores y vehículos que no cumplen con la normativa vigente (Ver Figura 110).

Figura 110

Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao fiscalizando



Nota: Diario Oficial El Peruano (2022)

Además, la ATU, está trabajando de manera progresiva en la implementación de la fiscalización electrónica a través de cámaras en los distritos de Lima. En la Av. Javier Prado, bajo esta modalidad, se han identificado un total de 346 vehículos que prestaban el servicio de transporte público que operaban de manera informal (Prensa ATU, 2023).

José Aguilar, presidente ejecutivo de la ATU, señala:

Este es una clara muestra de que la cooperación entre autoridades, con el uso de herramientas tecnológicas, genera más seguridad para los vecinos y usuarios de transporte. Vamos a seguir trabajando de esta manera para acabar con el transporte informal y reducir los accidentes, secuestros y asaltos que tienen como protagonistas a estos vehículos.

5.2.3 Implementación de buses eléctricos

En Perú, a la fecha, se ha implementado en dos ciudades buses eléctricos. En el distrito de San Isidro, Lima, el “Expreso San Isidro” se encuentra en funcionamiento, y en Arequipa, el bus eléctrico de transporte urbano terminó su etapa de prueba y se encuentran próximos a iniciar su etapa de operación.

a) Caso San Isidro, Lima

Según la Plataforma digital única del Estado Peruano (2023), la Municipalidad de San Isidro ha implementado un sistema de transporte público gratuito que consta de una flota de seis buses eléctricos. Este servicio conocido como “Expreso San Isidro”, cuenta con unidades que son recargadas exclusivamente con energía eléctrica, brindando una alternativa de

transporte sostenible y libre de emisiones. Además, están equipadas con alta tecnología para brindar accesibilidad, seguridad y comodidad a los usuarios. A continuación, se presentan las características del Expreso San Isidro:

- **Códigos QR:** Para facilitar el acceso a la información en tiempo real sobre las rutas, se han instalado códigos QR en los paneles de cada una de las estaciones (Ver Figura 111)

Figura 111

Panel informativo en paraderos oficiales



- **Capacidad de pasajeros:** Tienen una longitud de nueve metros de largo y con capacidad para 21 pasajeros debidamente sentados (Ver Figura 112)

Figura 112

Interior del Expreso San Isidro



- **Rampa de acceso:** Se ha incorporado una rampa hidráulica de acceso para garantizar que las personas con discapacidad física puedan abordar y descender del bus de manera práctica (Ver Figura 113)

Figura 113*Rampa de acceso para personas con discapacidad**Nota: Giancarlo Ávila (2022)*

- **Cámaras de vigilancia:** Con el objetivo de garantizar la seguridad de los pasajeros, se han instalado seis cámaras de vigilancia tanto en el interior como en el exterior de la unidad (Ver Figura 114)

Figura 114*Sistema de videovigilancia en el Expreso San Isidro*

- **Wifi y puertos USB:** Los buses cuentan con Wifi dentro de las unidades para mantener la conectividad y puertos USB para cargar dispositivos móviles (Ver Figura 115).

Figura 115*Puertos USB dentro del Expreso San Isidro*

- **Carga de bicicletas:** Para promover la movilidad sostenible, los autobuses están equipados con dos soportes en la parte delantera que permiten transportar bicicletas (Ver Figura 116)

Figura 116

Soporte para carga de bicicletas del Expreso San Isidro



- **Sistema de carga:** Los autobuses funcionan exclusivamente con energía eléctrica. Para cargar los autobuses, se han instalado dos electrolineras que permiten cargar completamente los vehículos en máximo dos horas (Ver Figura 117)

Figura 117

Sistema de carga para el Expreso San Isidro



b) Caso Arequipa

El vehículo perteneciente al consorcio Integra Arequipa SAC, responsable de la concesión de la ruta troncal del Sistema Integral de Transportes (SIT), en febrero de 2021 culminó su fase de prueba iniciada en enero de 2020, indica Rubén Vélez, representante del Consorcio Integra. (Portal Movilidad, 2022).

En setiembre de 2022, el Municipio Provincial de Arequipa (MPA) anunció su plan para implementar una flota de buses eléctricos, sin embargo, a la fecha del día de hoy, setiembre 2023, el proyecto parece abandonado (Portal Movilidad, 2023). Este bus eléctrico (Ver Figura 118) conectaría el norte y el centro de la ciudad de Arequipa, contando con una capacidad para 85 pasajeros y según cálculos, este modelo reduce las emisiones de CO₂ en hasta 80 toneladas al año. Esta unidad tiene integrado un sistema de conteo de pasajeros, Wi-Fi, cargadores USB y sistema de aire acondicionado con purificación de aire (Revista Energía y Negocios, 2022).

La concesionaria dio a conocer que el autobús eléctrico ha completado en su periodo de prueba un recorrido de 35 mil kilómetros en la ciudad, transportando a 12 mil pasajeros, y ha logrado un ahorro de cuatro veces más en comparación con un vehículo diésel. Durante su período de funcionamiento, el autobús eléctrico solo emitió 4.5 toneladas de dióxido de carbono (CO₂), el principal gas responsable del calentamiento global. En contraste, los autobuses diésel emiten aproximadamente 30 toneladas de CO₂ durante el mismo lapso, señala Juan Carlos Callacondo, subgerente de Transportes de la Municipalidad Provincial de Arequipa (MPA) (Portal Movilidad, 2022).

Lamentablemente, a la fecha, el proyecto quedó relegado debido a que no se levantaron las observaciones pendientes para su aprobación al Ministerio Economía y Finanzas (Portal Movilidad, 2023).

Figura 118

Bus eléctrico en la ciudad de Arequipa



Nota: Revista Energía y Negocios (2022)

Ambos casos mencionados, surgen como modelos a seguir como mejoras complementarias al proyecto del carril bus en la Av. Grau de Piura, , pues estas iniciativas no solo contribuyen significativamente a la reducción de la huella de carbono en la ciudad, sino que también promueven la transición hacia una movilidad más limpia y sostenible. Esto

demuestra el compromiso de la ciudad con un futuro más saludable tanto para sus residentes como para el medio ambiente. La integración de autobuses eléctricos en el proyecto actual no solo ayudará a mejorar la calidad del aire y reducir las emisiones de contaminantes, sino que también fortalecerá la imagen de la ciudad como un lugar comprometido con la protección del entorno, lo que puede atraer a nuevos residentes, visitantes y oportunidades económicas.

5.2.4 Mantenimiento de proyecto

La implementación de un carril bus es una medida estratégica para mejorar la movilidad urbana y fomentar el uso del transporte público. Sin embargo, la inversión inicial en la construcción e implementación del carril bus es solo el primer paso en la creación de un sistema de transporte público eficiente y seguro. La verdadera sostenibilidad y efectividad de este proyecto dependen en gran medida de un mantenimiento constante y adecuado de todas sus componentes, incluyendo la demarcación horizontal, las señales verticales y los paraderos de servicio, entre otros. Es una inversión necesaria que contribuye a la mejora de la movilidad urbana, la seguridad vial y la satisfacción de los usuarios, al tiempo que promueve una movilidad más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Algunas de las actividades que corresponden al mantenimiento son:

- Mantenimiento y pintura de demarcaciones en el pavimento.
- Inspección, limpieza y mantenimiento de señales verticales.
- Limpieza constante y reparación de estructuras de paraderos de buses.
- Evaluación del servicio y experiencia de usuario.

Conclusiones

El software Vissim es una herramienta fundamental para la evaluación de la viabilidad de la implementación de carriles bus como propuesta de mejora sostenible a la problemática de tráfico actual. Esta herramienta ofrece un análisis detallado y preciso del comportamiento del tráfico, teniendo en cuenta factores como el volumen vehicular, los tiempos semafóricos y la ubicación estratégica de paraderos. Permite anticipar los posibles impactos de la implementación de carriles bus, incluyendo la mejora de la fluidez del tráfico, la reducción del tiempo de viaje y la mejora de la calidad del servicio de transporte público. Además, se destaca su utilidad en la consideración de aspectos complejos, como el comportamiento de los pasajeros y su interacción con el sistema de transporte, lo que resalta su relevancia en la toma de decisiones para la planificación y mejora de la movilidad urbana.

Basado en la simulación de diferentes escenarios, se puede concluir que el constante aumento del tráfico vehicular sin mejoras en la sostenibilidad vial conducirá a un deterioro del nivel de servicio, alcanzando un nivel F en las proyecciones al año 2027. Sin embargo, la implementación de un carril bus, junto con la ubicación estratégica de paraderos y medidas de reducción de vehículos, han generado una ligera mejora en el nivel de servicio de las intersecciones. Si bien no se ha logrado una mejora significativa en los carriles compartidos a corto plazo de los niveles de servicio de las intersecciones, los tiempos de viaje y las velocidades de los buses de transporte público en el carril bus tienen valores positivos, lo cual incentivaría a los usuarios a migrar poco a poco hacia esta forma de transporte. Cabe recalcar que las medidas sostenibles tienen resultados a largo plazo, por lo que se espera que, con el tiempo, sean más los usuarios que elijan movilizarse haciendo uso del transporte público. Esto, destaca la importancia de considerar enfoques de movilidad sostenible a medida que la ciudad de Piura enfrenta un crecimiento continuo en el tráfico vehicular.

Los resultados de este estudio respaldan la implementación de carriles exclusivos para el transporte público en la avenida Grau como una estrategia efectiva para mejorar el servicio de transporte masivo de pasajeros. Sin embargo, es esencial reconocer que para que esta implementación tenga éxito, deben acompañarse de medidas adicionales. En particular, la concientización y la educación de todos los usuarios de la vía, incluidos peatones y conductores, desempeñan un papel fundamental en la eficacia de estos carriles exclusivos. El comportamiento responsable y el respeto de las normas de tránsito son factores esenciales para garantizar una mejora significativa en la movilidad y en la calidad del servicio de transporte público en la ciudad.

El diseño de una infraestructura atractiva y accesible para todos de los paraderos de los buses de transporte público, y la ubicación estratégica de estos mismos, es la pieza clave para la solución ante la problemática del desorden que causan los buses deteniéndose a lo largo de toda la Av. Grau recogiendo o dejando pasajeros.

La prohibición de la circulación de las mototaxis y motos lineales en la avenida fue exitosa para disminuir el tráfico, esto debido a que estos vehículos en específico, causan gran desorden en la vía debido a su imprudencia y su constante aumento con el pasar de los años.

La ciudad de Piura se encuentra en un punto crítico en su desarrollo urbano. Si bien es fundamental mejorar la infraestructura vial, no puede limitarse a la pavimentación y ampliación de calles. Piura necesita ir más allá y apostar por medidas de movilidad sostenible que promuevan un transporte más eficiente y respetuoso con el medio ambiente. La inversión en alternativas de transporte público, como carriles exclusivos para autobuses, junto con la promoción del uso de la bicicleta y la caminata, se convierte en una necesidad apremiante.



Recomendaciones

Se recomienda realizar un análisis de viabilidad para ampliar el estudio piloto a lo largo de la avenida Grau en su totalidad. Este proceso podría incluir la evaluación de rutas alternas, la realización de encuestas a los usuarios, entre otros. La extensión de la propuesta a una escala más amplia permitirá una evaluación más precisa de los beneficios, como la reducción de los tiempos de viaje y la mejora de la calidad del aire. Además, proporcionaría una visión integral de las soluciones y su impacto en el contexto urbano de Piura.

Se considera recomendable llevar a cabo una revisión exhaustiva de los ciclos semafóricos a lo largo de la avenida Grau; este proceso debe tener como objetivo la optimización de la sincronización de los semáforos, otorgando prioridad a los buses del transporte público y asegurando que estos ciclos semafóricos sean adaptables a las demandas variables. Esta acción es fundamental para mejorar la fluidez del tráfico en la zona.

Asimismo, se recomienda la prohibición de giros a la izquierda en las tres intersecciones evaluadas, pues al presentar altos volúmenes de tráfico en la Av. Grau, esta medida ayudaría a reducir el riesgo de colisiones y siniestros viales. Además, con esta medida, se evitaría las demoras y bloqueos en los carriles de tráfico, lo que conllevaría a una circulación más fluida.

El Plan Regulador de Rutas (PRR) se encuentra desactualizado desde el año 2013, por lo que se recomienda su pronta actualización, con el objetivo de garantizar un desarrollo urbano eficiente, considerando políticas de mejora públicas que incentiven la transición hacia un sistema de transporte público más sostenible. Esta actualización representa una oportunidad clave para abordar la movilidad sostenible en Piura y adopción de prácticas más amigables con el medio ambiente y reduciendo la huella de carbono.

Es fundamental que la Municipalidad Provincial de Piura promueva la realización de campañas informativas dirigidas tanto a los representantes y operadores de las distintas empresas de transporte público como a la población en general, con el objetivo de concientizar acerca de los beneficios que conlleva la implementación de medidas públicas en materia de transporte sostenible. Como, por ejemplo, el uso adecuado de las señales de tránsito, el respecto de las zonas de paraderos públicos, fomento de energías menos contaminantes, prácticas de movilidad sostenibles, seguridad vial. De esta manera al educar a todos los involucrados, se puede avanzar hacia una convivencia más segura y sostenible en la ciudad de Piura.

Se recomienda realizar una inversión en la rehabilitación de las vías y veredas de la avenida Grau, con enfoque específico en la promoción de medios de transporte sostenible como el ciclismo y la caminata. Se deben priorizar aquellos proyectos que incluyan la creación de carriles exclusivos para bicicletas y la ampliación de espacios peatonales, considerando la accesibilidad para personas con movilidad reducida.

Se sugiere implementar tecnología en los paraderos de transporte público y en los autobuses para brindar a los usuarios la capacidad de monitorear el servicio en tiempo real. Además, es importante la instalación de cámaras de seguridad en los vehículos para mejorar la seguridad y confianza de los usuarios, y se propone la adopción de un sistema de pago con tarjeta al momento de subir al bus, con el fin de reducir el desorden y agilizar el proceso de pago



Referencias

- Arias, C., Castro, A., Colombini, W., Custodio, P., Zimmerman, S. (2010). *Guía de Planificación de Sistemas BRT. Autobuses de Tránsito Rápido*. Institute for Transportation & Development Policy.
- Arias, L. D., & Huayaney, H. C. (2021). *Propuesta de implementación del cuarto carril destinado al uso exclusivo del transporte público en la Av. Javier Prado Oeste, para mejorar la operación del corredor complementario Javier Prado empleando el software Vissim 9.0*. [Trabajo de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC.
- Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao. (2022). *Guía de paraderos de los servicios de transporte regular del sistema integrado de transporte de Lima y Callao*. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/atu/normas-legales/3818057-022-2022-atu-dir>
- Banco de Desarrollo de América Latina, KFW & Municipalidad Provincial de Piura (2019). *Estudio de Pre-Inversión a nivel de perfil para la fase 1 del Sistema Integrado de Transporte Público de Piura, Perú*. Recuperado de <https://docplayer.es/122257112-Terminos-de-referencia-estudio-de-pre-inversion-a-nivel-de-perfil-para-la-fase-1-del-sistema-integrado-de-transporte-publico-de-piura-peru.html>
- Banco de Desarrollo de América Latina. (2013). *Qué es movilidad urbana*. CAF. Recuperado de <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2013/08/que-es-movilidad-urbana/>
- Barrón, J. J. L., Vergara-Villegas, O. O., Morales, S. N., & Sánchez, V. G. C. (2020). Evaluación del desempeño de sensores infrarrojo, ultrasónico y visión para el conteo de vehículos. *Research in Computing Science*, 149(11), 159-168.
- Bull, A., & CEPAL, N. (2003). Congestión de tránsito: el problema y cómo enfrentarlo. CEPAL.
- Cáceres, N. A., Díaz, N., Morales, A., Cifuentes, N. & Parra, N. (2016). *Caracterización, modelación y diseño de intersecciones, revisión literaria*. Universidad La Gran Colombia. Recuperado el 05 de octubre del 2022 de: <http://hdl.handle.net/11396/5139>
- Cal, R., & Cárdenas, J. (2018). Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones. Alpha Editorial.
- Cárdenas Grisales, J. C. (2007). El volumen de tránsito atraído y desarrollado en carreteras de Colombia. Un caso real. *Revista de Topografía AZIMUT*, 1, 41-52.
- Casares, A. (2015). *Calibración del modelo de seguimiento del software de micro simulación Vissim en carreteras multicarriles en régimen de flujo libre en Uruguay*. [Tesis de Maestría Mención Transporte FCEFyN, Universidad Nacional de Córdoba]. Repositorio Digital UNC.

- Cerquera, F.A. (2007). *Capacidad y niveles de servicio de la infraestructura vial*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Recuperado el 03 de octubre del 2022 de: <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1222>
- Chávez, V. (2005). *Manual de diseño geométrico de vías urbanas -2005 – VCGI*. Recuperado el 20 de octubre del 2022 de [https://limacap.org/normatividad-2019/transportes/Manual%20VCHI%20\(2005\).pdf](https://limacap.org/normatividad-2019/transportes/Manual%20VCHI%20(2005).pdf)
- Coronado, A. (1991). *Estudios de Ingeniería de Tránsito para la planeación regional del transporte carretero* [Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León].
- Decreto Supremo N° 017-2009-MTC. [Ministerio de Transportes y Comunicaciones]. Aprueban Reglamento Nacional de Administración de Transporte. 22 de abril de 2009.
- Dextre, J. C., & Avellaneda, P. (2014). *Movilidad en zonas urbanas*. Fondo Editorial, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Dowling, R., Skabardonis, A., Halkias, J., McHale, G., & Zammit, G. (2004). *Guidelines for Calibration of Microsimulation models*. Wasington, United State: Journal of the Transportation Research Board.
- Fernández, R., & Dextre, J. C. (2011). *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial.
- Fernández, R., Cortés, C., & Burgos, V. (2006). *Modelación de pasajeros, buses y paraderos en microsimuladores de tráfico. Revisión y extensiones*. Actas del XIV Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte, Gran Canaria, España.
- Fernández, T; Schroeder, S; Stöffler, S; Eufracio Lucio; D.; Ordóñez, J. A.; Mok, S.; Atarama, E.; Guillen, O.; Hernández, G.; Villegas, J.; Garcia, J. C; Báez, M.; Pudlik, M.; Umana, G.; Martínez, E.; Rodríguez, H.; Torres, R.; Zavala, M. D. (2021). *Reporte Del Perfil Técnico Completo De La Ciudad De Piura Dentro De La Iniciativa Global Morgenstadt*.
- Federal Highway Administration. (2004). *Traffic analysis toolbox Volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software*. Virgina, EEUU.
- Federal Highway Administration. (2019). *Volume III Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software 2019 Update to the 2004 Version*. Recuperado de https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/tat_vol3/sectapp_b.htm#table08
- Forman, R. T. T. & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecological Systems*, 29, 207–231.
- Herce M. & Magrinyà, F. (2013). *El espacio de la movilidad urbana*. Buenos Aires: Café de las ciudades.
- Hollander, Y., & Liu, R. (2008). *The Principals of Calibrating Traffic Microsimulation Models*. En Transportation. Springer.

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Perú: Estimaciones y proyecciones de población por departamento, provincia y distrito, 2018 – 2020*. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1715/libro.pdf
- Instituto Nacional de Vías. Manual de Diseño Geométrico para Carreteras. Ministerio de Transporte, Bogotá, 1998.
- Jans, M. (2009). Movilidad urbana: en camino a sistemas de transporte colectivo integrados. *AUS [Arquitectura/Urbanismo/Sustentabilidad]*, 6, 6-11. DOI: 10.4206/aus.2009.n 6-02
- Javier, A. (6 de octubre de 2014). *El carril bus: el aliado del transporte público*. MadridMobilite. Recuperado el 15 de octubre del 2022 de <https://madridmobilite.com/2014/10/06/el-carril-bus-el-aliado-del-transporte-publico/>
- Jiménez, M., & Sarmiento, I. (2011). Sistema adaptativo de control y optimización del tráfico de un corredor vial semaforizado. Aplicación a la ciudad de Medellín. *Dyna* (169), 71-78.
- Kauss P & Nicholas K. (2022). A dozen effective interventions to reduce car use in European cities: Lessons learned from a meta-analysis and transition management. *Case Studies on Transport Policy*. 10(3), 1494-1513. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.02.001>
- Lizárraga, C. (2006). Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI. *Economía, Sociedad y Territorio*, 6(22), 283-321.
- Martínez, E., Gómez, M., Marín, A., Álvarez, M., Moncholí, D., Romera, M., Nieves, G., Arriola, C., Ortiz, C. & Canseco, P. (2019). *Plan Maestro de Movilidad Urbana Sostenible de la Provincia de Piura*. CAF. Recuperado de: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1414>
- Mataix, C. (2010). *Movilidad Urbana Sostenible: Un reto energético y ambiental*. Madrid, España. Recuperado de <https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0536159.pdf>
- Mayorano, F., D'Amato, J. P., Rubiales, A., & Lotito, P. (2008). *Prototipo de simulador de tráfico vehicular*. X Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, Tandil, Argentina. Recuperado el 06 de octubre del 2022 de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/20573>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (3 de mayo de 2022). *MTC: Promovilidad y cooperación alemana destinan más de 4 millones de soles para estudio vial en la ciudad de Piura*. Plataforma digital única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/603992-mtc-promovilidad-y->

cooperacion-alemana-destinan-mas-de-4-millones-de-soles-para-estudio-vial-en-la-ciudad-de-piura

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras*. Recuperado el 01 de octubre del 2022 de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3730.pdf

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2011). *Norma GH 020 Componentes de Diseño Urbano DS N° 006-2011*. Recuperado el 15 de octubre de 2023 de <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619672-norma-gh-020-componentes-de-diseno-urbano-ds-n-006-2011>

Miralles-Guasch, C. (2002). Ciudad y transporte: el binomio imperfecto. Barcelona: Ariel.

Monetti, J., Contreras, M., Navarro, M., & Sevillano, G. (2018). Propuesta de recolección de datos para aforo vehicular. En XX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2018, Universidad Nacional del Nordeste).

Montenegro, J., & Lozano, A. (2013). Simulación microscópica del tránsito. 13th World Conference on Transport Research, 1-2. Recuperado el 30 de noviembre del 2022 de: <https://bit.ly/2Zxu5w3>

Montezuma, R. (2003). La movilidad urbana. En M. Balbo, R. Jordán, & D. Simioni (Eds.), *La ciudad inclusiva* (pp. 175-191). Santiago de Chile: CEPAL.

Municipalidad Metropolitana de Lima Gerencia de Transporte Urbano. (2019). *Resolución de Gerencia N° 090-2019-MML/GTU*. Lima.

Municipalidad Provincial de Piura. (2014). *Plan de Desarrollo Urbano de los Distritos de Piura, Veintiseis de Octubre, Castilla y Catacaos al 2032*. Piura: Municipalidad Provincial de Piura.

Municipalidad Provincial de Piura. (2011). Plan regulador de rutas urbanas e interurbanas de pasajeros para la ciudad de Piura. Piura: Municipalidad Provincial de Piura.

Ordenanza N° 0229-03-CMPP [Municipalidad Provincial de Piura]. 19 de junio de 2023.

Ordenanza N° 242-01-CMPP [Municipalidad Provincial de Piura]. 12 de setiembre de 2019.

Prensa ATU. (25 de mayo de 2022). La ATU acredita a 57 nuevos fiscalizadores para supervisar el cumplimiento de las normas que regulan el transporte público. *Plataforma digital única del Estado Peruano*. Recuperado el 15 de setiembre de 2023 de <https://www.gob.pe/institucion/atu/noticias/610570-la-atu-acredita-a-57-nuevos-fiscalizadores-para-supervisar-el-cumplimiento-de-las-normas-que-regulan-el-transporte-p-blico>

- Prensa ATU. (16 de agosto de 2023). ATU: fiscalización electrónica en La Molina y San Borja permite detectar más de 300 vehículos que hacían transporte público informal. *Plataforma digital única del Estado Peruano*. Recuperado el 15 de setiembre de 2023 de <https://www.gob.pe/institucion/atu/noticias/819213-atu-fiscalizacion-electronica-en-la-molina-y-san-borja-permite-detectar-mas-de-300-vehiculos-que-hacian-transporte-publico-informal>
- Plataforma digital única del Estado Peruano. (24 de setiembre de 2023). Expreso San Isidro. Recuperado el 15 de setiembre de 2023 de <https://www.gob.pe/21756-expreso-san-isidro>
- Portal Movilidad. (26 de abril de 2022). Tras la prueba piloto Arequipa pretende incorporar 72 buses eléctricos. *Portal movilidad*. Recuperado el 15 de setiembre de 2023 de <https://portalmovilidad.com/tras-la-prueba-piloto-arequipa-pretende-incorporar-72-buses-electricos/>
- Portal Movilidad. (20 de setiembre de 2023). Arequipa: MPA relega implementación de buses eléctricos al transporte público. *Portal Movilidad*. Recuperado el 15 de setiembre de 2023 de <https://portalmovilidad.com/arequipa-relega-bus-electrico-sit/>
- Prieto, A. (2019). *Utilización del enfoque Shared Space en la avenida Grau de Piura* [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil]. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
- PTV GROUP (2012). *Vissim 5.40 – Manual del usuario*. Recuperado el 14 de octubre del 2022 de: https://www.academia.edu/19116050/VISSIM_5_40_Manual_del_usuario
- PTV GROUP (2015). *PTV Vissim – Curso Vissim Básico*. Recuperado el 14 de octubre del 2022 de: <https://bit.ly/3s5IADq>
- Quintero-Gonzalez, J. R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40), 57-72. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd21-40.citm>
- Redacción El Comercio. (3 de marzo de 2022). Buses eléctricos: San Isidro brindará servicio gratuito desde este jueves 3 de marzo. *El Comercio Perú*. Recuperado el 15 de setiembre de 2023 de <https://elcomercio.pe/lima/buses-electricos-san-isidro-brindara-servicio-gratuito-de-transporte-desde-este-jueves-3-de-marzo-video-rmmn-noticia/>
- Revista Colectibondi. (2020). ¿Cómo funcionan los carriles exclusivos de Avenida Córdoba? *Revista Colectibondi*. Recuperado de: <https://www.revistacolectibondi.com.ar/2020/11/19/como-funcionan-los-carriles-exclusivos-de-avenida-cordoba/>

- Revista Energía y Negocios. (28 de setiembre de 2022). Arequipa tendrá su primer bus eléctrico funcionando en el transporte público. *Revista Energía y Negocios*. Recuperado el 15 de setiembre de 2023 de <https://revistaenergiaynegocios.com/2022/09/28/arequipa-tendra-su-primer-bus-electrico-funcionando-en-el-transporte-publico/>
- Robles, D., Ñañez P. & Quijano, N. (2009). Control y simulación de tráfico urbano en Colombia: Estado del arte. *Revista de Ingeniería*, (29), 59-69.
- Sánchez, J. (2022). *Propuesta de alternativas de movilidad urbana sostenible en la ciudad de Piura* [Tesis de Máster en Ingeniería Civil con mención en Vial]. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.
- Sartori, J. J. (2016). Evaluación económica del primer corredor “Solo Bus” implementado en la ciudad de Córdoba (Argentina).
- Secretaría Distrital de Movilidad. (17 de julio de 2017). Con nuevo carril preferencial en la Avenida Primero de Mayo, mejora la operación del transporte público. Recuperado el 20 de setiembre de 2023 de <https://www.movilidadbogota.gov.co/web/node/2184>
- Secretaría Distrital de Movilidad. (15 de setiembre de 2021). *Desde hoy, “Échale ojo a los carriles preferenciales” en Bogotá*. Recuperado el 15 de octubre del 2022 de https://www.movilidadbogota.gov.co/web/noticia/desde_hoy_echale_ojo_a_los_carriles_preferenciales_en_bogota
- Smith J., & Blewitt R. (2010). *Traffic Modeling Guidelines, TFL Traffic Manager and Network Performance Best Practice*. Transport for London.
- Sostenibilidad para todos. (s.f.). *Medidas de movilidad sostenible vistas en ciudades libres de emisiones*. Recuperado el 6 de abril de 2023, de https://www.sostenibilidad.com/construccion-y-urbanismo/medidas-movilidad-sostenible/?_adin=02021864894
- Subsecretaría de Transportes. (2022). *Vías exclusivas para el transporte público de la región Metropolitana*. Recuperado el 05 de noviembre del 2022 de <https://www.chileatiende.gob.cl/fichas/10711-vias-exclusivas-para-el-transporte-publico-de-la-region-metropolitana>
- Sykes, P. (2010). Traffic Simulation with Paramics. En J. Barcelo, *Fundamentals of Traffic Simulation*. Barcelona
- Texas Transport Institute (2011). *Annual Urban Mobility Report*. Texas, EUA.
- Torres, V. (2014). Hacia una movilidad sostenible. En A. Boix & R. Marzal (Eds.), *Ciudad y movilidad: La regulación de la movilidad urbana sostenible* (pp. 37-43). Valencia: PUV.
- Transport Roads & Maritime Services (2013). *Traffic Modelling Guidelines*. NSW Government.

- Transportation Research Board of The National Academies (2010). *Highway Capacity Manual*. Washington, DC.
- Velásquez, C. V. (2015). *Espacio público y movilidad urbana. Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM)* [Tesis doctoral]. Programa de doctorado en Espacio Público y Regeneración Urbana, Facultad de Bellas Artes, Universitat de Barcelona, España. Recuperado de <https://tdx.cat/handle/10803/319707>
- Vivier, J. & Mezghani, M. (2001). The millennium cities database: a tool for sustainable mobility. *Proceedings of the 2001 ECEEE Summer Study*, 1, 474-479.
- Wood, S. (2012). Traffic microsimulation dispelling the myths. *Traffic Engineering and Control*, 53(9), 339-344.
- World Business Council for Sustainable Development. (2001). *Movilidad 2001: perspectiva general*. Recuperado el 29 de noviembre del 2021 de <https://www.wbcsd.org/contentwbc/download/2639/33261>
- Zapata, J. (2020). Nivel de servicio y mejoramiento de diseño geométrico en avenida Prolongación Grau de la ciudad de Piura [Tesis para optar el grado de Maestro en Transportes y Conservación Vial]. Repositorio Digital de la Universidad Privada Antenor Orrego.
- Zevallos, E. y Guzmán, W. (2022). *Optimización y sincronización de semáforos de la Av. Grau entre los tramos de la Av. Sullana y la Av. Gullman en la provincia de Piura* [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil]. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
- Zuñiga, V. I. (2010). *Uso de herramientas de microsimulation para la definición de estrategias de control de tránsito para la ciudad de Santiago* [Trabajo de grado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.

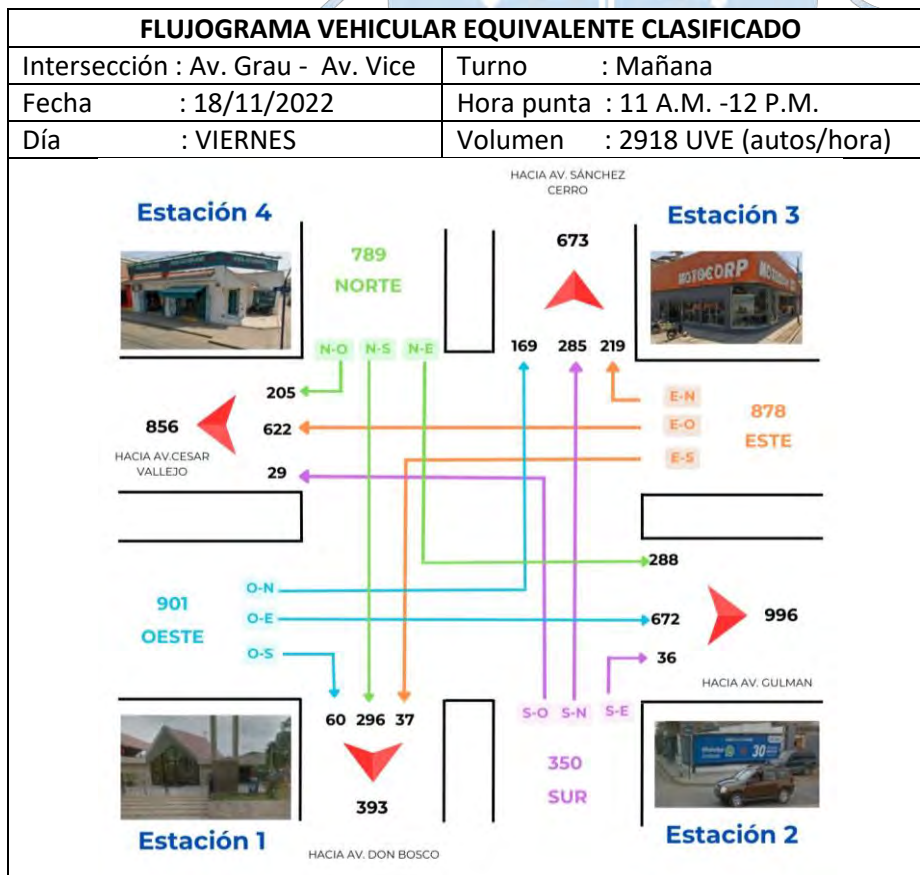
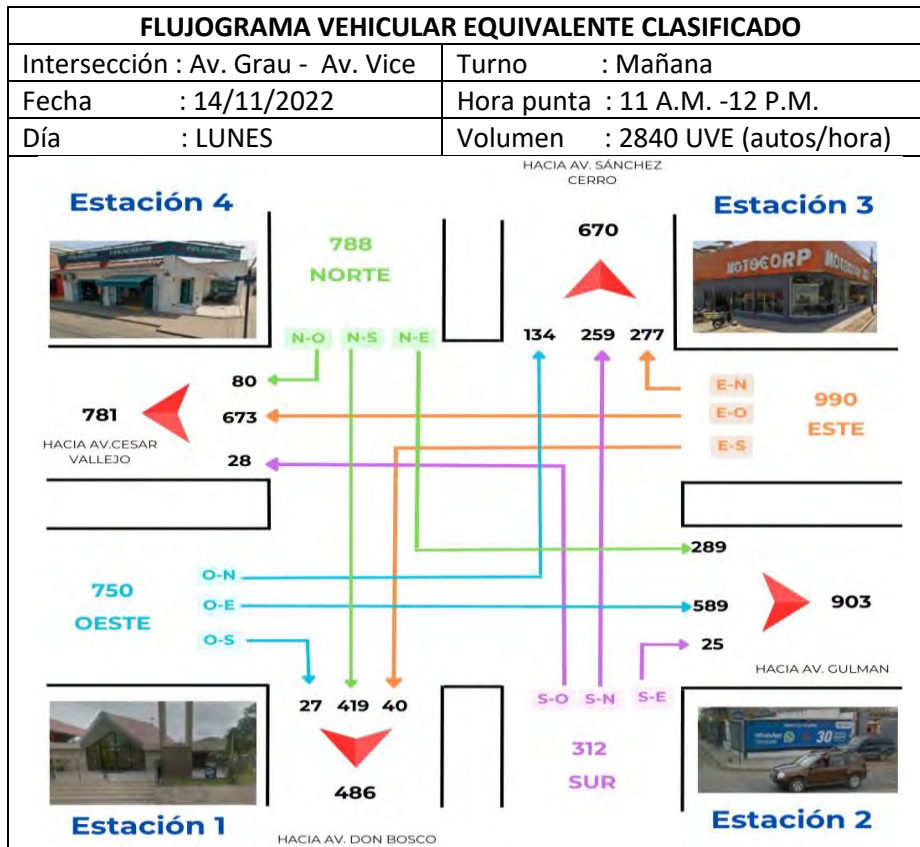
Apéndices



Apéndice A Aforo vehicular intersección Av. Grau – Av. Vice

VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - VEHÍCULOS CONTABILIZADOS														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. Vice							CIUDAD:		PIURA			
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM							FECHA:		14/11/2022			
ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETA COMBI	MICROBUS	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO	
VEHÍCULOS FÍSICOS	OESTE	O-S	1	18	8	15	0	2	1	0	0	45	1247	
		O-E	4	265	261	294	2	66	8	20	10	931		
		O-N	2	135	60	56	0	13	5	0	0	271		
	SUR	S-E	1	21	12	6	0	5	0	0	0	1	46	658
		S-N	0	250	196	103	2	15	5	0	0	2	573	
		S-O	0	18	12	3	0	2	1	0	0	3	39	
	ESTE	E-N	1	222	136	123	0	21	7	0	0	5	515	1607
		E-O	6	312	245	290	0	111	8	19	10	10	1011	
		E-S	2	27	28	19	0	4	1	0	0	0	81	
	NORTE	N-O	2	64	50	42	0	4	1	0	0	0	163	1396
		N-S	3	315	196	158	0	91	4	0	0	5	772	
		N-E	0	167	111	135	2	31	7	0	1	7	461	
VOLUMEN EN HORA CRÍTICA		22	1814	1315	1244	6	365	48	39	21	34	4908		
VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - UVE														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. Vice							CIUDAD:		PIURA			
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM							FECHA:		14/11/2022			
ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETA COMBI	MICRO	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO	
VEHÍCULOS EQUIVALENTES	OESTE		0.33	0.2	1	1	1	1.5	2	3	4	27	750	
		O-S	6	2	15	0	2	2	0	0	0	27		
		O-E	88	53	294	2	66	12	40	30	4	589		
	SUR	O-N	45	12	56	0	13	8	0	0	0	0	134	312
		S-E	7	3	6	0	5	0	0	0	0	4	25	
		S-N	83	40	103	2	15	8	0	0	8	259		
	ESTE	S-O	6	3	3	0	2	2	0	0	0	12	28	990
		E-N	74	28	123	0	21	11	0	0	20	277		
		E-O	103	49	290	0	111	12	38	30	40	673		
	NORTE	E-S	9	6	19	0	4	2	0	0	0	0	40	788
		N-O	22	10	42	0	4	2	0	0	0	0	80	
		N-S	104	40	158	0	91	6	0	0	20	419		
VOLUMEN EN HORA CRÍTICA			603	269	1244	6	365	76	78	63	136	2840	2840	
VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - VEHÍCULOS CONTABILIZADOS														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. Vice							CIUDAD:		PIURA			
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM							FECHA:		18/11/2022			
ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETA COMBI	MICROBUS	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO	
VEHÍCULOS FÍSICOS	OESTE	O-S	5	47	30	15	10	13				120	1486	
		O-E	7	312	272	315	11	83	6	19	10	7		1042
		O-N	2	127	86	68	11	30						324
	SUR	S-E	3	20	22	12	4	8					69	666
		S-N	5	263	105	120	9	48					550	
		S-O	2	9	14	14	2	5	1				47	
	ESTE	E-N	4	193	102	85	4	41				1	430	1511
		E-O	4	295	294	281	4	77	6	18	10	7	996	
		E-S	3	14	46	14		8					85	
	NORTE	N-O	4	166	88	83	10	39					390	1394
		N-S	6	226	123	125	2	66			1		549	
		N-E	3	143	87	91	91	40					455	
VOLUMEN EN HORA CRÍTICA		48	1815	1269	1223	158	458	13	37	21	15	5057		
VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - UVE														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. Vice							CIUDAD:		PIURA			
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM							FECHA:		18/11/2022			
ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETA COMBI	MICRO	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO	
VEHÍCULOS EQUIVALENTES	OESTE		0.33	0.2	1	1	1	1.5	2	3	4	60	901	
		O-S	16	6	15	10	13							60
		O-E	103	55	315	11	83	9	38	30	28	672		
	SUR	O-N	42	18	68	11	30						169	350
		S-E	7	5	12	4	8						36	
		S-N	87	21	120	9	48						285	
	ESTE	S-O	3	3	14	2	5	2					29	878
		E-N	64	21	85	4	41					4	219	
		E-O	98	59	281	4	77	9	36	30	28	622		
	NORTE	E-S	5	10	14		8						37	789
		N-O	55	18	83	10	39						205	
		N-S	75	25	125	2	66				3		296	
VOLUMEN EN HORA CRÍTICA			603	259	1223	158	458	20	74	63	60	2918	2918	

Apéndice A.1 Flujogramas intersección Av. Grau – Av. Vice



Apéndice B Aforo vehicular intersección Av. Grau – Av. Gulman

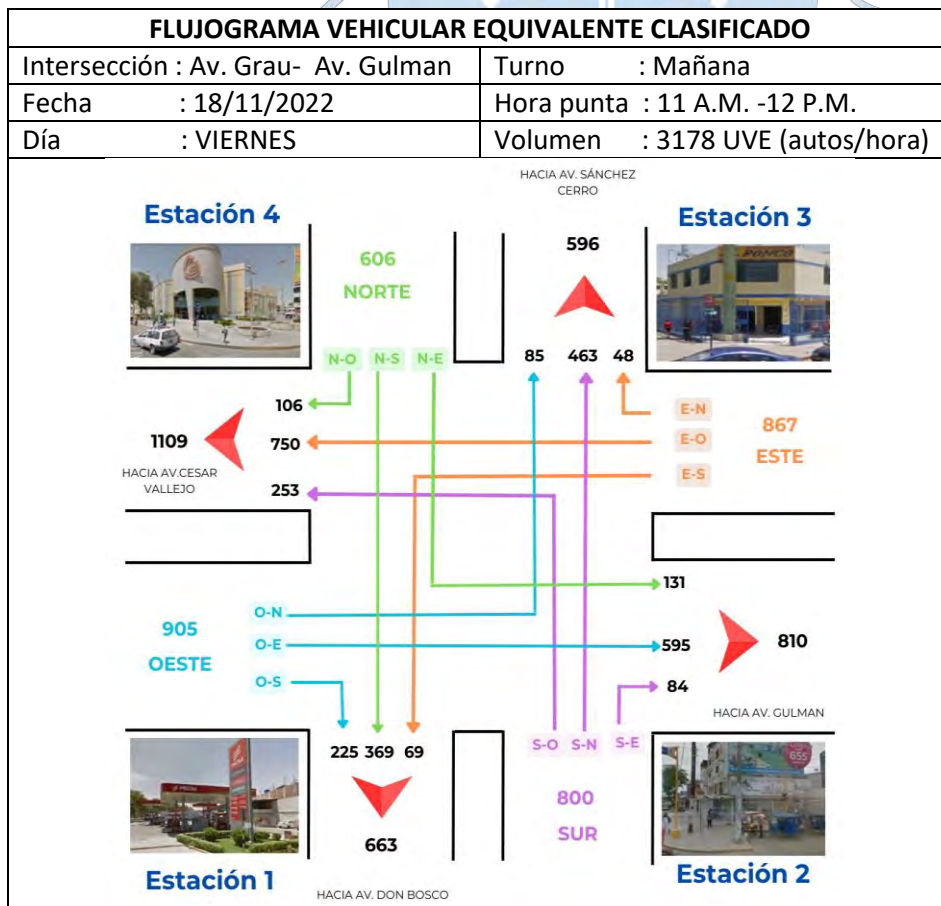
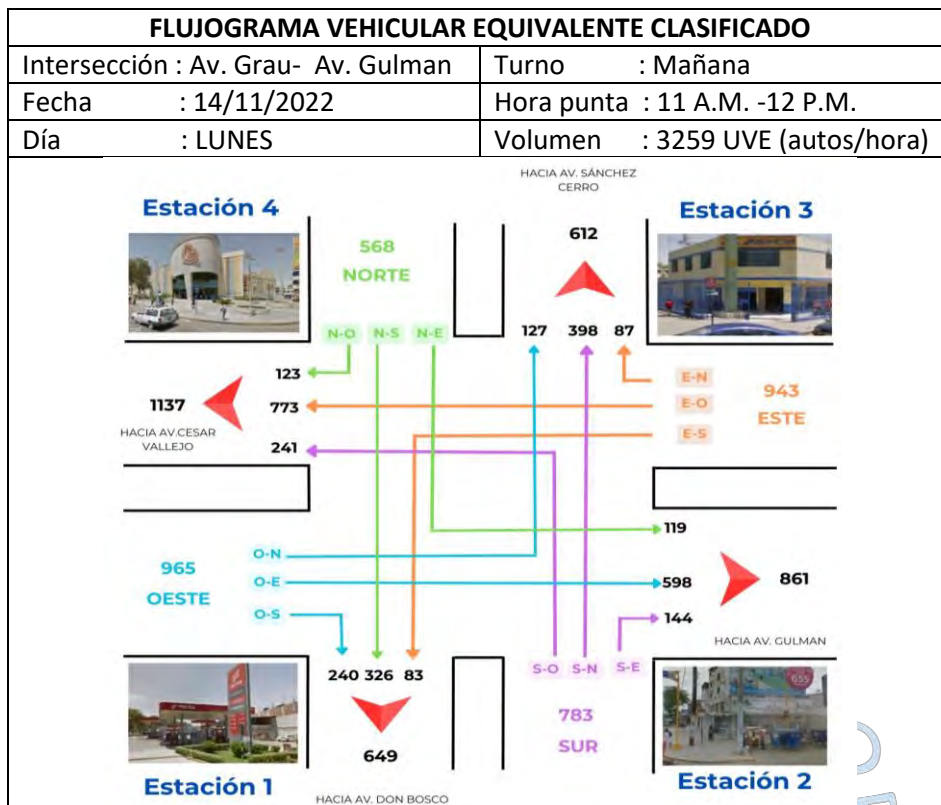
VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - VEHÍCULOS CONTABILIZADOS														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. Gulman							CIUDAD:		PIURA			
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM							FECHA:		14/11/2022			
VEHÍCULOS FÍSICOS	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETA COMBI	MICROBUS	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO
	OESTE	O-S	3	165	117	113	2	22	6	0	1	3	432	1572
		O-E	4	246	263	371	4	13	7	18	0	7	933	
		O-N	6	55	68	48	6	10	10	0	1	3	207	
	SUR	S-E	4	67	52	54	1	32	10	0	0	2	222	1329
		S-N	7	180	152	248	5	23	7	0	4	2	628	
		S-O	7	256	98	89	7	11	6	0	0	5	479	
	ESTE	E-N	4	25	27	44	3	9	0	0	0	4	116	1430
		E-O	4	304	303	465	3	55	16	18	0	7	1175	
		E-S	4	52	36	28	4	10	2	0	0	3	139	
	NORTE	N-O	3	45	46	70	5	8	2	0	4	0	183	863
		N-S	6	163	110	142	9	12	8	30	5	0	485	
N-E		5	60	42	73	4	8	3	0	0	0	195		
VOLUMEN EN HORA CRÍTICA			57	1618	1314	1745	53	213	77	66	15	36	5194	

VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - UVE															
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. Gulman							CIUDAD:		PIURA				
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM							FECHA:		14/11/2022				
VEHÍCULOS EQUIVALENTES	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETA COMBI	MICRO	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO	
	OESTE			0.33	0.2	1	1	1	1.5	2	3	4			
		O-S			55	24	113	2	22	9	0	3	12	240	965
		O-E			82	53	371	4	13	11	36	0	28	598	
	O-N			19	14	48	6	10	15	0	3	12	127		
	SUR	S-E			23	11	54	1	32	15	0	0	8	144	783
		S-N			60	31	248	5	23	11	0	12	8	398	
		S-O			85	20	89	7	11	9	0	0	20	241	
	ESTE	E-N			9	6	44	3	9	0	0	0	16	87	943
		E-O			101	61	465	3	55	24	36	0	28	773	
		E-S			18	8	28	4	10	3	0	0	12	83	
	NORTE	N-O			15	10	70	5	8	3	0	12	0	123	568
N-S				54	22	142	9	12	12	60	15	0	326		
N-E				20	9	73	4	8	5	0	0	0	119		
VOLUMEN EN HORA CRÍTICA			541	269	1745	53	213	117	132	45	144	3259	3259		

VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - VEHÍCULOS CONTABILIZADOS														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. Gulman							CIUDAD:		PIURA			
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM							FECHA:		18/11/2022			
VEHÍCULOS FÍSICOS	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETA COMBI	MICROBUS	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO
	OESTE	O-S		164	99	99	2	19	7		1	4	395	1507
		O-E	8	248	264	373	4	20	10	18	3	3	948	
		O-N	2	53	62	41	1	1	2		2	164		
	SUR	S-E		55	43	38	6	6	1			1	150	1254
		S-N	11	168	141	233	5	17	10	34	4	7	630	
		S-O		243	102	99	4	13	6	2	5	474		
	ESTE	E-N	2	13	22	35		3					75	1326
		E-O	5	288	287	466	6	42	12	16		8	1130	
		E-S		60	29	21		4	4			3	121	
	NORTE	N-O		48	48	64	3	5	1		2		171	924
		N-S	10	179	112	165	11	14	7	30	7	1	536	
N-E			72	49	88	3	3	2				217		
VOLUMEN EN HORA CRÍTICA			38	1591	1258	1722	45	147	62	98	16	34	5011	

VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - UVE														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. Gulman							CIUDAD:		PIURA			
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM							FECHA:		18/11/2022			
VEHÍCULOS EQUIVALENTES	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETA COMBI	MICRO	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO
	OESTE			0.33	0.2	1	1	1	1.5	2	3	4		
		O-S			55	20	99	2	19	11	3	16	225	905
		O-E			82	53	373	4	20	15	36	12	595	
	O-N			18	13	41	1	1	3		8	85		
	SUR	S-E			19	9	38	6	6	2		4	84	800
		S-N			56	29	233	5	17	15	68	28	463	
		S-O			81	21	99	4	13	9	6	20	253	
	ESTE	E-N			5	5	35		3				48	867
		E-O			96	58	466	6	42	18	32	32	750	
		E-S			20	6	21		4	6		12	69	
	NORTE	N-O			16	10	64	3	5	2	6		106	606
N-S				60	23	165	11	14	11	60	21	4	369	
N-E				24	10	88	3	3	3			131		
VOLUMEN EN HORA CRÍTICA			532	257	1722	45	147	95	196	48	136	3178	3178	

Apéndice B.1 Aforo vehicular intersección Av. Grau – Av. Gulman



Apéndice C Aforo vehicular intersección Av. Grau – Av. Gulman

VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - VEHÍCULOS CONTABILIZADOS														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. San Martín								CIUDAD:		PIURA		
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM								FECHA:		14/11/2022		
VEHÍCULOS FÍSICOS	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		MICROBUS	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO
	OESTE	O-S	0	83	43	36	1	9	3	0		2	177	1300
		O-E	4	227	348	463	3	46	10	18		4	1123	
	SUR	S-E	3	87	50	40	0	8				1	189	495
		S-O	1	132	63	91	0	11	3	1	1	3	306	
	ESTE	E-O	3	139	228	321	2	34	8	17		6	758	816
		E-S	0	17	25	10	0	2	3			1	58	
	NORTE	N-O	0	86	41	48	1	10	1			1	188	598
		N-S	1	168	69	46	1	2	2			2	291	
	VOLUMEN EN HORA CRÍTICA	N-E	0	39	25	44	1	5	5			0	119	
			12	978	892	1099	9	127	35	36	1	20	3209	
VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - UVE														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. San Martín								CIUDAD:		PIURA		
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM								FECHA:		14/11/2022		
VEHÍCULOS EQUIVALENTES	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	COMBI	MICRO	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO
	OESTE	O-S		0.33	0.2	1	1	1	1.5	2	3	4		820
		O-E		28	9	36	1	9	5	0	0	8	96	
	SUR	S-E		75	70	463	3	46	15	36	0	16	724	272
		S-O		29	10	40	0	8	0	0	0	4	91	
	ESTE	E-O		44	13	91	0	11	5	2	3	12	181	551
		E-S		46	46	321	2	34	12	34	0	24	519	
	NORTE	N-O		6	5	10	0	2	5	0	0	4	32	309
		N-S		29	9	48	1	10	2	0	0	4	103	
	VOLUMEN EN HORA CRÍTICA	N-E		56	14	46	1	2	3	0	0	8	130	
			13	5	44	1	5	8	0	0	0	76		
				326	181	1099	9	127	55	72	3	80	1952	1952
VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - VEHÍCULOS CONTABILIZADOS														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. San Martín								CIUDAD:		PIURA		
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM								FECHA:		18/11/2022		
VEHÍCULOS FÍSICOS	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	COMBI	MICROBUS	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO
	OESTE	O-S	1	97	52	52	5	5	7			4	223	1347
		O-E	5	247	345	486	3	4	14	18		2	1124	
	SUR	S-E	4	111	67	49		21					252	637
		S-O	4	155	84	110	5	19	4		1	3	385	
	ESTE	E-O	1	168	255	340	1	57	14	16		5	857	966
		E-S	5	25	40	17	1	11	6			4	109	
	NORTE	N-O	2	108	56	67		22			3		258	778
		N-S	4	190	84	64	2	4					348	
	VOLUMEN EN HORA CRÍTICA	N-E	3	52	37	65	3	11			1		172	
		29	1153	1020	1250	20	154	45	34	5	18	3728		
VOLUMEN DE VEHÍCULOS EN LA HORA DE MAXIMA DEMANDA - UVE														
INTERSECCIÓN:		Av Grau - Av. San Martín								CIUDAD:		PIURA		
HORA PUNTA:		11:00AM - 12:00PM								FECHA:		18/11/2022		
VEHÍCULOS EQUIVALENTES	ACCESO	SENTIDO	BICICLETA	MOTOTAXI	MOTOS LINEALES	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	COMBI	MICRO	BUS 2E - 3E	CAMIÓN 2E - 3E	TOTAL POR SENTIDO	TOTAL POR ACCESO
	OESTE	O-S		0.33	0.2	1	1	1	1.5	2	3	4		842
		O-E		33	11	52	5	5	11			16	133	
	SUR	S-E		82	69	486	3	4	21	36		8	709	345
		S-O		37	14	49		21					121	
	ESTE	E-O		52	17	110	5	19	6		3	12	224	649
		E-S		56	51	340	1	57	21	32		20	578	
	NORTE	N-O		9	8	17	1	11	9			16	71	404
		N-S		36	12	67		22			9		146	
	VOLUMEN EN HORA CRÍTICA	N-E		63	17	64	2	4					150	
			18	8	65	3	11			3		108		
				386	207	1250	20	154	68	68	15	72	2240	2240

Apéndice C.1 Aforo vehicular intersección Av. Grau – Av. Gulman

