

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO – CHILE



**METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO Y SOLUCIÓN PARA PUNTOS
CONFLICTIVOS EN AMBIENTES URBANOS**

OMAR MERA RUIZ

Memoria para optar al título de

INGENIERO CIVIL

Profesor Guía

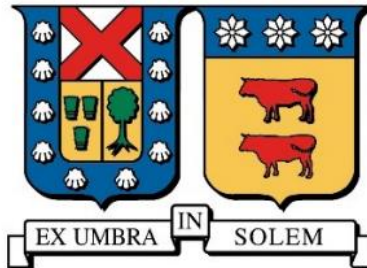
MAURICIO CARRASCO UGARTE

Profesor Correferente

ALELÍ OSORIO LIRD

Noviembre 2019

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO – CHILE



**METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO Y SOLUCIÓN PARA PUNTOS
CONFLICTIVOS EN AMBIENTES URBANOS**

Memoria de titulación presentada por

OMAR MERA RUIZ

Como requisito parcial para optar al título de

INGENIERO CIVIL

Profesor Guía

MAURICIO CARRASCO UGARTE

Profesor Correferente

ALELÍ OSORIO LIRD

Noviembre 2019

1. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que de una u otra forma, estuvieron presentes en esta etapa universitaria.

Agradezco a mi familia, en especial a mis padres, por el gran esfuerzo y sacrificio que han hecho siempre. Sin ellos, esto no hubiese sido posible.

Agradezco a mis compañeros y amigos de universidad, con los cuales hemos enfrentado juntos los desafíos que se nos han presentado.

A todos ustedes, muchas gracias.

2. RESUMEN

Materializar proyectos de ingeniería en los cuales se pretenda solucionar de manera definitiva los conflictos vehiculares, ya sean por los altos niveles de congestión que hoy en día afectan de manera transversal a la mayoría de las zonas urbanas del país, o por conflictos relacionados con la seguridad vial e infraestructura, requiere de plazos y costos extensos.

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de proponer una metodología de diagnóstico y solución para puntos situados en ambientes urbanos que presenten conflictos vehiculares, peatonales o de congestión, involucrando medidas de bajo costo y ejecutables en el corto plazo. En ella, se describe todos los procedimientos necesarios para garantizar un diagnóstico integral y crítico de las intersecciones objeto de análisis desde la perspectiva de su capacidad, tipología de vehículos, conflictos de operación e interferencia entre usuarios, seguridad, espacio disponible, etc. Como consecuencia de dicho diagnóstico, se genera una cartera de proyectos de baja inversión e implementación inmediata como propuesta de solución que, comprenden medidas menores, orientadas a la gestión y consecuente optimización del uso de la vialidad existente reflejando diseños más justos, seguros y humanos para el entorno de los usuarios del sector.

Esta metodología, con todos los estudios base, actividades y etapas que conlleva, se aplica a un caso práctico, el cual corresponde a dos intersecciones ubicadas en zonas de alto conflicto vehicular y que representan gran importancia para las ciudades de Puerto Varas y Calbuco y que forman parte de un proyecto real de análisis de puntos conflictivos, empleando a su vez, para garantizar la eficacia del diagnóstico y de las propuestas desarrolladas, una herramienta de simulación microscópica de tráfico que abre paso a la discusión sobre la necesidad de incorporar el uso de microsimuladores como requerimiento para el desarrollo de este tipo de proyectos.

Palabras Claves: *Puntos Conflictivos, Seguridad Vial, Microsimulación, Aimsun, Intersecciones Congestionadas, Medidas de gestión de tránsito.*

3. ABSTRACT

To materialize engineering projects in which vehicle conflicts are intended to be resolved definitively, either because of the high levels of congestion that today affect most of the urban areas of the country, or due to security-related conflicts road and infrastructure, requires extensive deadlines and costs.

The present work is aimed at proposing a diagnosis and solution methodology for points located in urban environments that present vehicular, pedestrian or congestion conflicts, involving low cost and executable measures in the short term. In it, all the procedures necessary for the diagnosis are described, a comprehensive and critical diagnosis of the intersections object of analysis from the perspective of their capacity, type of vehicles, operational conflicts and interference between users, security, available space, etc. From this diagnosis, a portfolio of low investment projects and immediate implementation is generated as a solution proposal that contains minor measures, oriented to management and consequent optimization of the use of existing roads reflecting more fair, safe and human designs for the environment of users of the sector.

This methodology, with all the basic studies, activities and stages involved, applies to a case study, which corresponds to two intersections located in areas of high vehicular conflict and that represent great importance for the cities of Puerto Varas and Calbuco and that are part of a real project of analysis of conflict points, using, in turn, to guarantee the effectiveness of the diagnosis and the proposals developed, a microscopic traffic simulation tool that opens the way to the discussion about the need to incorporate the use of Microsimulators as a requirement for the development of this type of projects.

Keywords: *Conflicted Points, Road Safe, Microsimulation, Aimsun, Congested Intersection, Transit management measures.*

4. GLOSARIO

- **BCN:** Se refiere a la Biblioteca del Congreso Nacional. Es un servicio del Congreso chileno cuya función es asistir como centro de información al Senado y a la Cámara de Diputados.
- **CAD:** Hace referencia al formato por defecto que traen consigo los archivos trabajados en el software comercial AutoCAD.
- **CONASET:** Se refiere a la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito. Organismo público cuya finalidad es ser el encargado de la seguridad vial en Chile.
- **HCM:** Se refiere al Highway Capacity Manual, corresponde a una publicación de la Junta Nacional de Transportes (EE. UU) que contiene conceptos, directrices y procedimientos de cálculo para evaluar la capacidad y nivel de servicio de las instalaciones en una carretera.
- **INE:** Se refiere al Instituto Nacional de Estadísticas, organismo encargado de realizar los censos generales de la población chilena, y producir las estadísticas oficiales del país, entre otros.
- **MINVU:** Se refiere al Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, encargado de la planificación, desarrollo y construcción de viviendas, urbanizando y normalizando a la vez, el uso del espacio público.
- **MOP:** Se refiere al Ministerio de Obras Públicas. Organismo encargado de planificar, proyectar, construir, administrar y conservar la infraestructura pública de carácter fiscal bajo su tuición a lo largo de Chile.
- **MTT:** Se refiere al Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Organismo público encargado de dirigir, supervisar, coordinar y promover leyes sobre el transporte y telecomunicaciones a lo largo del país.
- **SECTRA:** Es un organismo técnico del MTT, correspondiente al programa de vialidad y transporte urbano. Especializado en la planificación del transporte a lo largo de Chile.
- **SEREMITT:** Se refiere a la Secretaría Regional del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Organismo representante del MTT en la región, cuya función es elaborar y ejecutar las políticas, planes y proyectos regionales ajustándose a las instrucciones de carácter técnico y administrativo que imparte el MTT.
- **SERVIU:** Se refiere al Servicio de Vivienda y Urbanismo. Organismo ejecutor de las políticas, planes y programas que disponga el MINVU.
- **UF:** Se refiere a la Unidad de Fomento y corresponde a una unidad de cuenta usada en Chile reajutable de acuerdo con la inflación.
- **UOCT:** Se refiere a la Unidad Operativa de Control de Tránsito. Organismo que se dedica a optimizar la gestión de tránsito a lo largo del país, a través de la administración y operación de los sistemas de transportes y mejoramiento de los sistemas de información.

5. ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	AGRADECIMIENTOS	3
2.	RESUMEN.....	4
3.	ABSTRACT.....	5
4.	GLOSARIO	6
5.	ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	7
6.	ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
7.	ÍNDICE DE TABLAS	10
8.	ÍNDICE DE ECUACIONES	11
9.	ÍNDICE DE FIGURAS ANEXOS	11
10.	ÍNDICE DE TABLAS ANEXOS.....	13
1.	INTRODUCCIÓN.....	14
1.1.	Antecedentes Generales	14
1.2.	Objetivos.....	15
1.2.1	Objetivo Principal	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
1.3.	Alcances del Estudio	16
1.4.	Plan de Trabajo.....	16
1.5.	Estructura de la Memoria.....	17
2.	REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	18
2.1.	Puntos Conflictivos Urbanos.....	18
2.1.1	Definiciones	18
2.1.2	Estudios y métodos desarrollados	19
2.2.	Seguridad Vial e Ingeniería de Transportes.....	21
2.2.1	Definiciones	21
2.2.2	Variables de tráfico	22
2.2.3	Control de Tráfico.....	22
2.3.	Simulación de Tráfico.....	23
2.3.1	Definiciones	23
2.3.2	Modelos de Simulación	24
2.3.3	Fundamentos de la Microsimulación.....	26
3.	DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	30

3.1.	Diagnóstico	30
3.1.1.	Estudios Base	31
3.1.2.	Modelación del Escenario Actual	43
3.1.3.	Revisión de Trayectorias del Escenario Actual	48
3.1.4.	Diagnóstico Definitivo de los Puntos	48
3.2.	Solución	52
3.2.1.	Requerimientos de Autoridades Locales	53
3.2.2.	Análisis de Justificación de Semáforos	53
3.2.3.	Propuesta Preliminar de las Alternativas de Mejoramiento.....	56
3.2.4.	Desarrollo de los proyectos definitivos	57
3.2.5.	Modelación del Escenario con Proyecto	60
3.2.6.	Revisión de Trayectorias del Escenario con Proyecto	61
4.	APLICACIÓN A CASO DE ESTUDIO	62
4.1.	Introducción.....	62
4.2.	Diagnóstico	64
4.2.1.	Estudios Base	64
4.2.2.	Modelación del Escenario Actual	79
4.2.3.	Revisión de Trayectorias del Escenario Actual	85
4.2.4.	Diagnóstico Definitivo de los Puntos.....	87
4.3.	Solución	90
4.3.1.	Requerimientos de las Autoridades Locales	90
4.3.2.	Análisis de Justificación de Semáforos	90
4.3.3.	Análisis Preliminar de Propuestas	91
4.3.4.	Desarrollo de los Proyectos Definitivo	93
4.3.5.	Modelación Escenario con Proyecto.....	103
4.3.6.	Revisión de Trayectorias del Escenario Actual	108
5.	AJUSTE METODOLÓGICO	110
6.	CONCLUSIONES	111
7.	RECOMENDACIONES	113
7.1.	En el Marco del Uso de la Metodología	113
7.2.	En el Marco de Trabajos Futuros	114
8.	REFERENCIAS	116
9.	ANEXO A – METODOLOGÍA	119
9.1.	A.1 – Tabla Problema - Solución.....	119

9.2.	A.2 – Lista de Chequeo	122
10.	ANEXO B – Aplicación Caso Estudio.....	127
10.1.	B.1 – Diagnóstico.....	127
10.2.	B.2 – Solución.....	147
11.	ANEXO C - MICROSIMULACIÓN.....	154
11.1.	C.1 – Comparación entre microsimuladores.....	154
11.2.	C.2 – Construcción del Modelo de Microsimulación	158

6. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Niveles de simulación de tráfico.....	25
Figura 2.	Aceptabilidad del cambio de carril basada en el gap espacial.....	28
Figura 3.	Vista en planta de la ubicación del Punto 01, Puerto Varas.....	63
Figura 4.	Vista en planta de la ubicación del Punto 02, Calbuco	63
Figura 5.	Vista en planta acercada Punto 01, Puerto Varas.....	65
Figura 6.	Vista desde el poniente. Punto 01, Puerto Varas.....	66
Figura 7.	Vista en planta acercada Punto 02, Calbuco.....	67
Figura 8.	Vista desde el norte. Punto 02, Calbuco	68
Figura 9.	Captura de pantalla de las filmaciones realizadas en el Punto 1 y 2.....	70
Figura 10.	Horas Móviles Puerto Varas	71
Figura 11.	Horas Móviles Calbuco.....	71
Figura 12.	Vista en planta del tramo de medición de velocidad.....	73
Figura 13.	Simbología Catastro de Pavimentos.....	74
Figura 14.	Catastro de Pavimentos Punto 1.....	74
Figura 15.	Catastro de Pavimentos del Punto 02.....	75
Figura 16.	Catastro Operativo Punto 01.....	78
Figura 17.	Catastro Operativo Punto 02.....	78
Figura 18.	Modelo en AIMSUN NG del Punto 01	80
Figura 19.	Modelo en AIMSUN NG del Punto 02	81
Figura 20.	Comparación Fotografía tomada en terreno y Modelo del Punto 01	82
Figura 21.	Imagen que muestra la simulación en 2D y 3D (Punto 01).....	82
Figura 22.	Capturas de pantalla de situaciones de conflicto en el Punto 1.....	83
Figura 23.	Imagen en 3D de la simulación realizada en el Punto 01.....	83
Figura 24.	Modelo Escenario Actual del Punto 02..	84
Figura 25.	Fotografía que enmarca el conflicto en el Punto 02	84

Figura 26. Imagen que muestra en un mismo instante la simulación en 2D y 3D.....	85
Figura 27. Modelos de Camión 2 y 3 Ejes AASHTO para simular trayectorias.....	86
Figura 28. Simulación de Trayectorias P01 en Vehicle Tracking AutoDESK.	86
Figura 29. Simulación de Trayectorias P02 en Vehicle Tracking AutoDESK.	86
Figura 30. Proyecto de Seguridad Vial Punto 1.....	94
Figura 31. Proyecto de Seguridad Vial Punto 1.....	94
Figura 32. Proyecto de Seguridad Vial Punto 1.....	95
Figura 33. Proyecto de Pavimentación (izquierda) y Demolición (derecha) Punto 1.	96
Figura 34. Detalle de requerimientos mínimos para los dispositivos de rodado.	96
Figura 35. Proyecto de Seguridad Vial Punto 2.....	97
Figura 36. Proyecto de Pavimentación Punto 2.....	98
Figura 37. Proyecto de Demolición Punto 2.....	99
Figura 38. Cartilla de Diseño Estructural en Hormigón.....	100
Figura 39. Proyecto de Diseño Geométrico Punto 2.....	101
Figura 40. Modelo Escenario con Proyecto en AIMSUN NG del Punto 01.....	103
Figura 41. Modelo Escenario con Proyecto en AIMSUN NG del Punto 02.....	104
Figura 42. Topografía del entorno del Punto 02.....	104
Figura 43. Captura en AIMSUN que muestra la situación con proyecto P01.....	105
Figura 44. Capturas en AIMSUN que muestran la operatividad de los peatones del P01.	105
Figura 45. Capturas en AIMSUN que muestran la operatividad del Punto 1.....	106
Figura 46. Situación Actual (izquierda) y Situación con Proyecto (derecha).....	106
Figura 47. Situación con Proyecto capturado en 2D y 3D desde AIMSUN.....	107
Figura 48. Situación con Proyecto que muestra la operación de la pista de viraje.....	107
Figura 49. Situación Actual (izquierda) y Situación con Proyecto (derecha).....	108
Figura 50. Simulación de Trayectorias en Vehicle Tracking AutoDESK.....	109
Figura 51. Simulación de Trayectorias en Vehicle Tracking AutoDESK.....	109

7. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Antecedentes iniciales requeridos para la revisión.....	31
Tabla 2. Factores de Equivalencia para homogenizar flujos.....	37
Tabla 3. Coeficientes de Rugosidad Longitudinal para la estimación del índice p.....	39
Tabla 4. Coeficientes de Intensidad de Grietas y Parches para la estimación del índice p.....	39
Tabla 5. Coeficientes de Deformación Transversal para la estimación del índice p.....	39
Tabla 6. Criterio exigido para calibrar el modelo en base al GEH.....	47
Tabla 7. Umbrales para justificación con flujos de 8 horas.....	54
Tabla 8. Umbrales para justificación con flujos de 4 horas.....	55
Tabla 9. Umbrales para el Indicador PV2.....	55
Tabla 10. Listado de Puntos a estudiar.....	62
Tabla 11. Caracterización general del Punto 1.....	65
Tabla 12. Diagnóstico preliminar del Punto realizado a partir de visita de campo.....	66

Tabla 13. Caracterización general del Punto 2.....	67
Tabla 14. Diagnóstico preliminar del Punto realizado a partir de visita de campo	68
Tabla 15. Horas Punta Puerto Varas.....	71
Tabla 16. Horas Punta Calbuco	72
Tabla 17. Resultados Longitud de Cola de los Puntos	72
Tabla 18 . Resultados de la Medición de velocidad.....	73
Tabla 19. Índice de Serviabilidad según tramos homogéneos	74
Tabla 20. Índice de Serviabilidad según tramos homogéneos	75
Tabla 21. Catastro de Infraestructura y Elementos del Entorno Punto 1	76
Tabla 22. Catastro de Infraestructura y Elementos del Entorno Punto 2	77
Tabla 23. Diagnósticos definitivos de los Puntos	87
Tabla 24. Resumen Justificación de Semáforo Punto 01	91
Tabla 25. Resumen Justificación de Semáforo Punto 02	91
Tabla 26. Propuestas de solución para los Puntos estudiados	91
Tabla 27. Presupuesto Estimado Punto 1.....	102
Tabla 28. Presupuesto Estimado Punto 2.....	102

8. ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Variable hora móvil para periodizar a partir de flujos	38
Ecuación 2. Expresiones para el cálculo del índice de serviabilidad	40
Ecuación 3. Estadístico GEH.....	47

9. ÍNDICE DE FIGURAS ANEXOS

Figura Anexo 1. Levantamiento planimétrico del Punto 01, Puerto Varas.....	131
Figura Anexo 2. Levantamiento planimétrico del Punto 02, Calbuco.....	131
Figura Anexo 3. Diagrama de Movimientos Vehiculares Punto 1.....	132
Figura Anexo 4. Diagrama de Movimientos Vehiculares Punto 2.....	133
Figura Anexo 5. Diagrama de Movimientos Peatonales Punto 1	134
Figura Anexo 6. Diagrama de Movimientos Peatonales Punto 2.	135
Figura Anexo 7. Longitud de Cola para las tres horas punta	136
Figura Anexo 8. Longitud de Cola para las tres horas punta	137
Figura Anexo 9. Trayectoria de la medición de velocidad.....	138
Figura Anexo 10. Centros Generados y Atractores de Viajes, Puerto Varas.....	142
Figura Anexo 11. Vista hacia calle Del Salvador en dirección oriente	143
Figura Anexo 12. Vista hacia calle San Bernardo en dirección norte.....	143
Figura Anexo 13. Centros Generados y Atractores de Viajes, Calbuco	144
Figura Anexo 14. Vista rama surponiente de la intersección.....	144

Figura Anexo 15. Plano Catastro de Luminarias Punto 1.....	145
Figura Anexo 16. o Catastro de Luminarias Punto 2.....	146
Figura Anexo 17. Catastro de Servicios Simplificado Punto 1.....	146
Figura Anexo 18. Catastro de Servicios Simplificado Punto 2.....	147
Figura Anexo 19. Captura de Pantalla AIMSUN NG, proceso de dibujo.....	159
Figura Anexo 20. Captura de Pantalla AIMSUN NG, configuración inicial.....	159
Figura Anexo 21. Captura desde AIMSUN NG, muestra modelo con centroides.....	160
Figura Anexo 22. Captura desde AIMSUN NG. Matriz OD	161
Figura Anexo 23. Captura desde AIMSUN NG, muestra modelo	162
Figura Anexo 24. Captura desde AIMSUN NG, muestra Matriz OD peatonal.....	162
Figura Anexo 25. Captura desde AIMSUN NG, muestra cómo se configuran.....	163
Figura Anexo 26. Captura desde AIMSUN NG. Simulación que busca verificar el modelo.....	164
Figura Anexo 27. Captura desde AIMSUN NG. Nomenclatura secciones.....	165
Figura Anexo 28. Curva correlación Flujos medidos y simulado.....	166
Figura Anexo 29. Curva correlación Flujos medidos y simulados.....	167
Figura Anexo 30. Curva correlación Flujos medidos y simulados.....	167
Figura Anexo 31. Curva correlación Flujos medidos y simulados.....	168
Figura Anexo 32. Captura desde AIMSUN NG. Cola pista central.	169
Figura Anexo 33. Captura desde AIMSUN NG. Configuración Nudo.....	171
Figura Anexo 34. Captura desde AIMSUN NG. Modelo Punto 2.....	172
Figura Anexo 35. Captura desde AIMSUN NG. Matriz OD	172
Figura Anexo 36. Captura desde AIMSUN NG, muestra cómo se configuran.....	173
Figura Anexo 37. Captura desde AIMSUN NG. Simulación	174
Figura Anexo 38. Captura desde AIMSUN NG. Nomenclatura secciones.....	175
Figura Anexo 39. Curva correlación Flujos medidos y simulados.....	177
Figura Anexo 40. Curva correlación Flujos medidos y simulados.....	177
Figura Anexo 41. Curva correlación Flujos medidos y simulados.....	178
Figura Anexo 42. Curva correlación Flujos medidos y simulados.....	178
Figura Anexo 43. Captura desde AIMSUN NG. Cola pista central.	179
Figura Anexo 44. Captura desde AIMSUN NG. Modelo Punto 1 con Proyecto.....	180
Figura Anexo 45. Captura desde AIMSUN NG. Configuración Nudo Punto 1	181
Figura Anexo 46. Captura desde AIMSUN NG. Centroides Punto 1 con Proyecto.....	181
Figura Anexo 47. Captura desde AIMSUN NG. Matriz OD Punto 1 con Proyecto	182
Figura Anexo 48. Captura desde AIMSUN NG. Modelo Punto 1 con Proyecto.....	182
Figura Anexo 49. Captura desde AIMSUN NG. Matriz OD Peatones Punto 1.	183
Figura Anexo 50. Captura desde AIMSUN NG. Configuración de fases Punto 1.....	184
Figura Anexo 51. Captura desde AIMSUN NG. Modelo Punto 1.....	185
Figura Anexo 52. Captura desde AIMSUN NG. Construcción modelo Punto 2	186
Figura Anexo 53. Captura desde AIMSUN NG. Configuración Nudo.....	186
Figura Anexo 54. Captura desde AIMSUN NG. Estado de Tráfico	187
Figura Anexo 55. Captura desde AIMSUN NG. Modelo Punto 2.....	188

10. ÍNDICE DE TABLAS ANEXOS

Tabla Anexo 1. Problema - Posible Solución.....	120
Tabla Anexo 2. Lista de Chequeo.....	122
Tabla Anexo 3. Resumen de los resultados de la solicitud de Antecedentes.....	127
Tabla Anexo 4. P01 - Flujos horarios por Movimiento [veq/h].....	132
Tabla Anexo 5. P02 - Flujos horarios por Movimiento [veq/h].....	133
Tabla Anexo 6. P01 - Flujos Peatonales horarios por Movimiento [veq/h].....	134
Tabla Anexo 7. P02 - Flujos Peatonales horarios por Movimiento [veq/h].....	135
Tabla Anexo 8. Resultados de medición tramo Del Salvador.....	138
Tabla Anexo 9. Catastro de TP en las vías de los Puntos estudiados.....	139
Tabla Anexo 10. Accidentes Ocurridos en el Punto 01.....	139
Tabla Anexo 11. Total de accidentes Punto 01.....	140
Tabla Anexo 12. Accidentes Ocurridos en el Punto 01.....	140
Tabla Anexo 13. Total de accidentes Punto 01.....	140
Tabla Anexo 14. Características de las vías del Punto 01.....	141
Tabla Anexo 15. Características de las vías del Punto 02.....	141
Tabla Anexo 16. Análisis Justificación de Semáforo según Flujos Vehicular.....	148
Tabla Anexo 17. Análisis Conflicto 1: PV2 Cuatro Horas más Cargadas.....	149
Tabla Anexo 18. Total de Accidentes Ocurridos por año.....	150
Tabla Anexo 19. Análisis Justificación de Semáforo Umbral Reducido.....	150
Tabla Anexo 20. Análisis Justificación de Semáforo según Flujos Vehicular.....	151
Tabla Anexo 21. Análisis Conflicto 1: PV2 Cuatro Horas más Cargadas.....	152
Tabla Anexo 22. Total de Accidentes Ocurridos por año Punto 2.....	153
Tabla Anexo 23. Análisis Justificación de Semáforo Umbral Reducido.....	153
Tabla Anexo 24. Comparación entre softwares de microsimulación.....	156
Tabla Anexo 25. Resultados GEH para vehículos Livianos PM.....	165
Tabla Anexo 26. Resultados GEH para vehículos Taxi Colectivos.....	165
Tabla Anexo 27. Resultados GEH para vehículos Pesados.....	166
Tabla Anexo 28. Resultados GEH para vehículos Taxi Buses.....	166
Tabla Anexo 29. Velocidades medidas (K/h) Punto 1.....	169
Tabla Anexo 30. Velocidades simuladas (K/h) Punto 1.....	169
Tabla Anexo 31. Diferencias entre velocidades simuladas y medidas.....	170
Tabla Anexo 32. Resultados GEH para vehículos Livianos PM.....	175
Tabla Anexo 33. Resultados GEH para vehículos Taxis Colectivos.....	176
Tabla Anexo 34. Resultados GEH para vehículos Pesados PM.....	176
Tabla Anexo 35. Resultados GEH para vehículos Taxi Buses.....	176

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes Generales

En el último tiempo, principalmente a partir de la década de 1990, el aumento de la demanda de transporte y del tránsito vial ha generado en las ciudades mayor congestión, mayor tasa de accidentabilidad, demoras y problemas ambientales. Esto, se ha transformado en un flagelo severo, manifestándose en países industrializados y en vías de desarrollo, afectando tanto a automovilistas como a usuarios del transporte público generando pérdidas en la eficiencia económica y otros efectos negativos en la sociedad. Lo preocupante sin duda, es que, en los tiempos actuales, los conflictos vehiculares y la congestión se han ido acentuando representando un gran problema amenazando la calidad de vida urbana (Bull, 2003).

El parque vehicular en Chile ha tenido un alza exponencial en estos últimos años, existiendo un crecimiento que supera el 60% en el período 2010-2018, aumentando desde 3,3 a 5,4 millones de vehículos motorizados en circulación en el lapso indicado según cifras del Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Si bien, la cantidad de vehículos que componen estas cifras mayormente se concentra en la Región Metropolitana, este aumento no se ha visto reflejado únicamente en las grandes ciudades o capitales regionales, sino también en comunas y localidades de menor tamaño, es decir, se ha desarrollado de manera transversal a lo largo del país. A modo de ejemplo, el parque automotor en Puerto Varas creció un 56% entre los años 2010 y 2018, mientras que, en la localidad de Calbuco, se tuvo un crecimiento de 114% en el mismo período (INE, 2019).

Las principales actividades económicas que se desarrollan a lo largo del territorio nacional, ya sea la minería que predomina en el norte del país, la industria manufacturera en la zona central o bien la ganadería y acuicultura en la zona sur, han generado un incentivo para que aumente la población urbana y consigo, un fuerte impacto en la gestión de movilidad de vehículos y peatones. (BCN, 2019). Por lo tanto, el proceso acelerado de urbanización y el crecimiento sustancial de las tasas de motorización en las ciudades ha producido un importante aumento de la congestión y un significativo incremento en los tiempos de traslado, así como también, una mayor demanda de transporte, tanto de carga, como de pasajeros, con el consecuente deterioro de la calidad de servicio de las vías. Las soluciones definitivas a estos problemas de transporte requieren tanto medidas de gestión de tránsito como importantes aumentos en la capacidad vial actual, implicando la realización de obras de ingeniería de mayor envergadura y cambios en la conducta de los usuarios, que son de lenta implementación. Concretar lo anterior, conlleva plazos y costos extensos, lo cual justifica que en el intertanto, se realicen esfuerzos por mejorar la seguridad y movilidad de las personas mediante un conjunto de medidas de bajo costo, coherentes y coordinadas entre sí y ejecutables en el corto plazo, donde cada una de ellas realice un aporte tendiente a disminuir la congestión, los conflictos vehiculares suscitados en lugares puntuales, los problemas de seguridad vial, mejorar las condiciones de tráfico y de la circulación de las personas, la accesibilidad a los medios de

transporte público y en conjunto, permitan reducir los tiempos de viaje de los usuarios (CITRA, 2018).

En la medida que aumenta la congestión y se dificultan las condiciones operativas a nivel vehicular y peatonal en el entorno urbano, se convierte en un requerimiento necesario agilizar el análisis de dichas condiciones y facilitar el entendimiento de los posibles resultados que puedan otorgar las medidas planteadas sin la necesidad de implementarlas directamente en la vía pública (Montenegro, 2013). Una herramienta que podría prestar gran utilidad en la valoración de estas soluciones, son los simuladores. Estos programas de simulación son potencialmente útiles para realizar predicciones del comportamiento operacional frente a distintos escenarios. Entrega una visión amplia de las complejidades de funcionamiento de un punto o red frente a problemas específicos, ofrece un amplio espectro de análisis y evalúa el impacto de implementar medidas de mejoramiento (Zúñiga, 2010). En la actualidad, existen distintos programas computacionales que simulan el tráfico urbano y de acuerdo con el nivel de detalle con el que se pretende analizar la red vial, se clasifican en modelos de simulación microscópicos, mesoscópicos y macroscópicos siendo un importante complemento en la evaluación de medidas y estrategias de transportes (Valladares, 2016). A nivel de puntos, se recomienda el uso de microsimuladores, sin embargo, su utilización aún es incipiente en Chile, sobre todo, en proyectos de gestión de tránsito de bajo costo, razón por la cual, se requiere de un criterio que indique cuándo es razonable utilizar esta herramienta para el análisis de este tipo de proyectos.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo Principal

- Desarrollar una metodología de diagnóstico y solución para intersecciones conflictivas situadas en ambientes urbanos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar una metodología que contenga todas las etapas y procedimientos necesarios para:
 - Diagnosticar del funcionamiento actual de intersecciones a nivel.
 - Analizar y proponer alternativas de mejoramiento vial de bajo costo y de rápida implementación.
- Aplicar la metodología desarrollada a un caso de estudio.
- Elaborar recomendaciones sobre el uso de la metodología.

1.3. Alcances del Estudio

El incremento del parque automotor, el aumento sustancial de la población urbana, el deterioro de la calidad de servicio de las vías y las dificultades de operación en las intersecciones son las principales razones que hacen que, desplazarse de un sitio a otro al interior de la ciudad se esté convirtiendo en un verdadero desafío para los ciudadanos. En el desarrollo de este estudio, se propone una metodología la cual tenga por objetivo un certero diagnóstico de las características físicas, operacionales y urbanísticas existentes en una intersección y una propuesta de soluciones con una visión integral respondiendo a medidas de gestión de tránsito que impliquen una baja inversión, pero con un alto impacto sobre el funcionamiento de la red vial e imagen urbana de la ciudad, y de ejecución inmediata, cuyo objetivo es mitigar las problemáticas existentes en puntos conflictivos situados en ambientes urbanos, aprovechando al máximo las condiciones existentes del terreno y cumpliendo con los alcances de las normativas correspondientes. Dentro de las medidas a proponer, se excluyen obras mayores, las cuales permiten modificaciones significativas en la intersección, es decir, cambio de uso de suelo, expropiaciones, considerables aumentos en la capacidad vial, obras hidráulicas de aguas lluvias, intervención a las instalaciones de servicios y alumbrado público, entre otros. Entonces, la esencia de este tipo de proyectos es que, sin intervenir significativamente la geometría actual, se pueda inducir importantes mejoras en el diseño operativo de un punto conflictivo por medio de proyectos de seguridad vial, diseño geométrico, semaforización, demolición y pavimentación, induciendo mejoras en la condición de movilidad, accesibilidad, seguridad y confort, disminuyendo al mismo tiempo los conflictos vehiculares, la congestión y problemas asociados al desplazamiento de los usuarios del sector. La metodología se aplicará a un caso estudio, en la cual se desarrollará todas las etapas y procedimientos que ella propone, complementando el diseño de las soluciones propuestas mediante la modelación de las intersecciones con un programa computacional de simulación de tráfico, discutiendo la necesidad de la implementación de esta herramienta en este tipo de proyectos.

1.4. Plan de Trabajo

Para el desarrollo del estudio se realizó una combinación de las disciplinas de tránsito, diseño vial, modelación y simulación. Los objetivos planteados se llevan a cabo considerando las siguientes actividades:

- Revisión de antecedentes en los cuales aborden estudios y proyectos de similares características que sean de interés general para la recopilación de información y para su posterior análisis.
- Desarrollo de la metodología en la cual se describe cada una de las etapas necesarias para la correcta elaboración del diagnóstico y la propuesta de soluciones de puntos conflictivos urbanos.
- Aplicación de la metodología desarrollada a un caso estudio que, para la presente memoria serán dos intersecciones que forman parte del proyecto “Análisis de Puntos

Congestionados en comunas de la Región de Los Lagos” que actualmente se encuentra en desarrollo, específicamente en Puerto Varas y Calbuco. Para lo anterior se realizará:

- Levantamiento y procesamiento de la información de terreno que conformarán los estudios base requeridos para garantizar un diagnóstico acertado de las características físicas, operacionales y urbanísticas presentes en el área de estudio, y servirán de base para las propuestas posteriores (Topografía, Catastros, Mediciones de Tránsito, etc.).
- Análisis de justificación de semáforos y desarrollo de distintas alternativas que deberán dar cumplimiento al fin último del proyecto, es decir, se analizará un conjunto específico de soluciones para los puntos objeto de estudio, que incluye un set de mejoramientos de bajo costo.
- Modelación de las intersecciones en el escenario actual y con proyecto, utilizando la herramienta de simulación AIMSUN NG.
- Determinación de un criterio que indique en que situaciones es recomendable el uso del simulador, a través de un análisis comparativo de los escenarios modelados.
- Revisión de trayectorias mediante el software comercial Vehicle Tracking para el análisis del funcionamiento espacial de la geometría.
- Desarrollo de una cartera de proyectos que se encuentran destinados a la accesibilidad y movilidad de los vehículos y peatones, elaborando Planos, Especificaciones Técnicas, Presupuestos y Cubicaciones.
- Ajuste metodológico en base al análisis de los resultados obtenidos de la aplicación al caso de estudio.
- Elaboración de recomendaciones y conclusiones sobre el uso de la metodología en donde se sintetiza los hallazgos más relevantes en el desarrollo del estudio.

1.5. Estructura de la Memoria

La presente Memoria de título se estructura en los siguientes capítulos.

1. **Introducción:** Por medio de los Antecedentes Generales, se define el problema de la congestión y de los conflictos vehiculares en Chile. Se describe la motivación y justificación del presente trabajo, se plantean los objetivos y las actividades a desarrollar.
2. **Revisión de la Literatura:** Se presenta una revisión del estado del arte y de la práctica para los distintos enfoques y disciplinas que aborda la Memoria.
3. **Desarrollo de la Metodología:** Se documenta las etapas y procedimientos que conlleva desarrollar estudios de análisis de puntos conflictivos en zonas urbanas, generando diagnósticos y soluciones de bajo costo, e implementando una herramienta computacional de simulación de tráfico que tiene por finalidad modelar distintos escenarios complementando los diseños.

4. **Aplicación a un Caso Estudio:** Se implementan las estrategias y procedimientos desarrollados en la metodología a un caso práctico que contempla dos puntos conflictivos pertenecientes a un proyecto real que actualmente está en ejecución.
5. **Ajuste Metodológico:** En este capítulo se identifican las potenciales mejoras que podrían incorporarse al método desarrollado a partir del análisis de los resultados obtenidos en la aplicación al caso de estudio.
6. **Conclusiones:** Se presentan conclusiones y comentarios del trabajo realizado.
7. **Recomendaciones:** En este capítulo se elaboran recomendaciones en relación con el uso de la metodología y con trabajos futuros.
8. **Referencias:** Corresponde a todas las referencias bibliográficas involucradas y visitadas en el desarrollo de la Memoria, sirviendo de sustento de cada uno de los procedimientos descritos, evaluados y aplicados.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Son distintas las disciplinas que están involucradas en estudios de tratamiento de intersecciones conflictivas. Entre las más destacadas se encuentra la ingeniería vial y de transportes. En el presente capítulo, se presenta los resultados de la revisión bibliográfica, la cual establece los lineamientos que componen el marco conceptual de la presente Memoria, describe los principales métodos y estudios relacionados con el área temática y busca sentar las bases para el desarrollo de proyectos de análisis de puntos conflictivos situados en zonas urbanas.

2.1. Puntos Conflictivos Urbanos

2.1.1 Definiciones

- Intersecciones a nivel. Corresponde al área que es compartida por dos o más vías y cuya función principal es posibilitar el cambio de dirección de ruta. Las intersecciones a nivel son bastante convenientes dado que presentan mayor facilidad de proyecto y construcción, siendo más económicas que otras alternativas tales como puentes, túneles o desniveles (Hernández, Rodríguez & Osiris, 2015).
- Punto operacionalmente conflictivo. Una intersección se caracteriza como conflictiva desde distintas perspectivas, vale decir, desde el nivel operacional, congestión,

infraestructura, demanda peatonal, desde la accesibilidad y movilidad, etc. En el marco de la operatividad vehicular, este concepto se define como la unión de diferentes movimientos direccionales vehiculares en un mismo nivel, con énfasis en los conflictos que pueden ser puntos de potenciales accidentes dada su relación con la intensidad de tránsito.

- Soluciones viales. Corresponde a la aplicación de adaptaciones y medidas de tránsito que tienen por finalidad ofrecer mejoras a los problemas urbanos presentes en una ciudad y optimizar la operatividad en las redes viales (Solano, Terrano & Burgos, 2017).

2.1.2 Estudios y métodos desarrollados

Los estudios de análisis de puntos conflictivos urbanos tienen por objetivo mitigar los problemas operacionales y de congestión que existen en determinadas intersecciones situadas en la ciudad, mediante soluciones de bajo costo, a la espera de que se materialicen proyectos de ingeniería mayor que proporcionen mejoras definitivas a estas problemáticas. Esta modalidad ha estado presente en nuestro país principalmente en los últimos años y ha sido gestionada por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) ante los crecientes conflictos vehiculares concentrados en determinados puntos urbanos producto del crecimiento del parque vehicular a lo largo del país. Se observa que es en la última década donde se han impulsado los estudios más relevantes, siendo los dos primeros de este grupo en octubre del año 2014 con el llamado a licitación pública para el análisis de puntos conflictivos ubicados en las ciudades de Valdivia e Iquique. Más tarde, en 2015, se solicitó el estudio de puntos situados en las comunas rurales de la Región Metropolitana, en comunas de la Región del Bío-Bío, Valparaíso, Maule, O'Higgins y la Araucanía. Ya en el año 2016, SECTRA del MTT solicitó el estudio de puntos ubicados en Vallenar, Arica y Copiapó. En el año 2018 figura la licitación del último estudio de puntos conflictivos que actualmente está en desarrollo, correspondiente al proyecto "Análisis de Puntos Congestionados en Comunas de la Región de Los Lagos", que comprende específicamente puntos ubicados en las comunas de Puerto Varas y Calbuco. Las bases técnicas de todos estos proyectos son bastante similares entre sí, y cabe destacar que, ninguna de ellas, sugiere la utilización de simuladores de tráfico para modelar la operación de los puntos y evaluar su comportamiento, dejando a criterio del consultor la utilización de esta herramienta. Si bien las bases técnicas de estos estudios inducen un conjunto de actividades que deben ser completadas para cumplir con el objetivo, dejando inclusive a juicio del consultor la manera de abordar el tratamiento, no existe una metodología documentada que describa completamente todos los procedimientos necesarios para el correcto desarrollo de estos proyectos. Por ejemplo, CONASET en el año 2012 generó un documento llamado "Medidas Correctivas de bajo costo aplicadas en ciudades chilenas", este organismo mediante dicho escrito, presenta un set de medidas aplicadas a intersecciones situadas en determinadas comunas chilenas que sirvieron como caso estudio, con la previa descripción de los riesgos de accidentes que presentan estos puntos, sin embargo, no corresponde a una metodología que describa todas y cada una de las actividades necesarias para desarrollar este tipo de estudios,

y que dé como resultado la proposición de estas medidas. Por otro lado, el “Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana” (MESPIVU) efectivamente describe lineamientos generales de los procedimientos que se utilizan en gestión de tránsito, pero, posee un enfoque extenso, que abarca tanto de proyectos de menor alcance como de proyectos de gran envergadura, contemplando elementos como expropiaciones, aumentos de capacidad vial, modelos de demanda de transportes, análisis de redes, entre otros.

En relación con la funcionalidad y operación de intersecciones, se tiene los manuales de especificaciones y recomendaciones de diseño, las cuales en muchos proyectos toman forma de normativa para el desarrollo de estos, describiendo los procedimientos necesarios para realizar las actividades que conforman intervenciones en las vías urbanas. En este contexto, se tiene el Manual de Señalización de Tránsito (2012) elaborado también por la CONASET, en el cual describen todos los aspectos de criterios y especificaciones a considerar de los proyectos de Seguridad Vial, Semaforización, Diseño Geométrico, entre otros. Otros manuales de Diseño, enfocado principalmente en la geometría de la vialidad, es el manual de “Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana” (REDEVU) aprobado por el MINVU en el año 1984 y cuya última edición corresponde al año 2009. Esta es una de las herramientas más utilizadas en el país para el desarrollo de proyectos urbanos. En el marco internacional, se encuentra el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) que es una destacada herramienta en la gestión de operación de todo tipo de instalaciones viales y reconocida a nivel mundial. Este manual es de origen estadounidense y los parámetros de los modelos propuestos en esta guía provienen del mismo país, por lo tanto, su uso debe venir respaldado por estudios en condiciones locales y calibraciones de manera de ajustar los diseños a la idiosincrasia de cada región (Thenoux, 2004). Si bien esta guía podría ser útil para complementar el diagnóstico, dado que, se centra en establecer niveles de servicios de las vías urbanas, interurbanas e intersecciones, no tiene una mayor incidencia en este tipo de estudios a nivel local. Esto se puede ver reflejado en las bases técnicas de los proyectos de puntos congestionados, dado que, estas no solicitan su uso.

La revisión de la literatura nos da a conocer la existencia de distintas memorias de título, tesis y publicaciones desarrolladas a nivel nacional o provenientes de otros países que abordan las problemáticas de intersecciones conflictivas en las cuales, algunas emplean la simulación dentro de las herramientas de análisis. Sin embargo, muchas de ellas no se ajustan a los requerimientos locales, ya sea por el alcance de su trabajo, uso de normativas y criterios que no son aplicables en Chile o abordan problemáticas ajenas a la realidad del país. Por otro lado, trabajos como los realizados por Gibson en el año 2001, que aborda los principios de la teoría de transportes, Bull en 2003 con el libro “La Congestión de Tránsito. El problema y como tratarlo”, entregan los lineamientos base para analizar los conflictos vehiculares y entender los conceptos asociados a la congestión. Las teorías que conforman los cimientos de la microsimulación han sido desarrolladas por distintos autores desde la década del 50 cuando comenzaron los estudios de los modelos de seguimiento vehicular (Car-following). Cabe destacar que estos principios se encuentran perfectamente conceptualizados en los trabajos de Zúñiga (2010), Johansson y Alexandersson (2013), Valladares (2016), Stefoni (2018), entre otros, aportando significativamente a la comprensión de los fundamentos de la microsimulación y los modelos en los cuales estos programas computacionales se sustentan.

2.2. Seguridad Vial e Ingeniería de Transportes

2.2.1 Definiciones

- Teoría de Flujo Vehicular. Analiza el proceso de la circulación de vehículos sobre vías urbanas como fenómeno físico con patrón de viaje conocido. Se excluyen los conceptos de la teoría de transportes, que aborda aspectos de los modelos clásicos de generación, distribución, partición modal y asignación de viajes que realizan los usuarios de la vialidad (Gibson, 2001). Consiste en establecer relaciones matemáticas entre los principales elementos que componen el flujo vehicular: volúmenes, densidad y velocidad. Su aplicación radica en el diseño y optimización de infraestructura vial, en dispositivos de control, gestión de tránsito y simulaciones de tráfico. Estas últimas utilizan algoritmos matemáticos para estudiar el comportamiento y las interrelaciones entre los elementos que la componen (Moyano, 2017). Destacan dos tipos de flujos, el ininterrumpido, el cual se asocia al tráfico de autopistas y carreteras donde las principales relaciones son del tipo vehículo-vehículo y donde no requieren detenerse por ninguna causa externa al flujo de tráfico, y el interrumpido, el cual es regulado periódicamente por un medio externo y asociado al tránsito urbano, donde las relaciones responden tanto al tipo vehículo-vehículo, vehículo - peatón y vehículo vía. Este es el flujo que se pretende simular (Almonacid, 2007).
- Congestión Vehicular. Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad libre, pero, dependiendo de la frecuencia de las intersecciones y de los límites de velocidad. La congestión vehicular comienza cuando, a volúmenes mayores de tránsito, cada vehículo adicional dificulta el desplazamiento de los demás, siendo su causa fundamental, la fricción entre vehículos en el flujo de circulación. Por lo tanto, la congestión es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito incrementa el tiempo de circulación de los demás (Bull, 2003). La congestión vehicular resulta frustrante para los conductores debido a que se traducen en pérdida de tiempo y consumo innecesario de combustible. Las consecuencias radican en accidentes dado que los conductores pierden la calma al encontrarse estáticos por mucho tiempo derivando en violencia vial (Condori & Lipa, 2018).
- Demanda de Transporte. Obedece a la necesidad de trasladar personas y bienes de un lugar a otro. Implica de la realización de múltiples desplazamientos que representa recorridos de ida y vuelta. Dada las actividades de las personas, existe una concentración de viajes en ciertos horarios durante el día conocidos como períodos punta generando aumentos en los volúmenes de tránsito traduciéndose en congestión (Bull, 2003).

2.2.2 Variables de tráfico

- Volumen de tránsito. Se define como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal de una pista o calzada durante un período de tiempo determinado (Condori & Lipa, 2018).
- Flujo del tráfico. Se define como el número de vehículos que atraviesan una determinada sección de la vía por unidad de tiempo. El flujo describe macroscópicamente la circulación (Gibson, 2001).
- Densidad de tráfico. También conocida como concentración de tráfico, se define como el número de vehículos que están presentes en un tramo de vía en un cierto instante de tiempo, describiendo macroscópicamente la circulación (Gibson, 2001).
- Velocidad. Se define como la distancia por unidad de tiempo. En ingeniería de transportes, existen varios tipos de velocidad debido a que cada vehículo circula por la vía a velocidades y en condiciones diferentes, por lo que, en la cuantificación del flujo vehicular, la variable significativa es el promedio de la velocidad (Moyano, 2017).
- Cola. Se define como el número de vehículos que esperan ser servidos en una vía o acceso, sin contar aquellos que están siendo atendidos en ese momento, y se genera cuando los vehículos llegan a una intersección de prioridad de una vía secundaria, intersección semaforizada, acceso o a una estación de servicios (Moyano, 2017).

2.2.3 Control de Tráfico

- Dispositivos de control. Estos se comunican con los conductores y se rigen por normas y reglamentación que definen las autoridades. Los dispositivos se traducen en señales que se encuentran estandarizadas según color, forma, simbología, etc. con la finalidad que los conductores lo puedan leer con claridad, comodidad y atención (Almonacid, 2007).
- Semáforos. Son dispositivos de señalización mediante los cuales se regula la circulación de vehículos y peatones en las vías, asignando el derecho de paso de manera secuencial, operadas por un aparato electrónico de control de tráfico (Hernández, Rodríguez & Osiris, 2015).
- Ciclo Semafórico. Tiempo necesario para que el disco indicador del semáforo de una revolución completa, es decir, corresponde al tiempo requerido para una secuencia completa de todas las indicaciones de señal de un semáforo (Cuevas, 2012).

- Fases Semafóricas. Es un estado del semáforo en el cual uno o más movimientos reciben derecho de paso, definiéndose de tal forma que, cuando un movimiento se detiene, otro(s) inicia(n) la marcha, es decir, una fase se identifica por dar derecho de paso, al menos a un movimiento, al principio de ella y quitar derecho de paso, al menos a un movimiento, al final de ésta (Manual de Señalización de Tránsito – Capítulo 4, 2012).
- Controlador de semáforo. Es un dispositivo de señalización en el cual, mediante la programación de este, realiza el cambio de las luces conforme al plan de control semafórico.
- Señales horizontales. Constituyen un complemento de la señalización vertical y su principal función es regular la circulación, advertir o guiar a los usuarios, conformando de esta manera un elemento indispensable para la seguridad y gestión de tránsito (MTT, 2012).
- Señales verticales. La principal función de las señales verticales es reglamentar, advertir peligros o informar acerca de rutas, direcciones, destinos y lugares de interés. Estas deben ser instaladas previo análisis técnico, en los lugares donde estas se justifiquen (MTT, 2012).

2.3. Simulación de Tráfico

2.3.1 Definiciones

- Simulación de Tráfico. May, A. (1990), citado por Molina (2018, p.24), define el concepto de simulación de tráfico como sigue: “Simulación es una técnica numérica para la realización de experimentos en una computadora digital, la cual puede incluir características estocásticas de naturaleza microscópica o macroscópica, y que incluye modelos matemáticos que describen el comportamiento de un sistema de transporte dentro de períodos de tiempo real”.
- Simulador de Tráfico. Herramienta computacional que permite la ejecución de simulaciones permitiendo la obtención de importantes conclusiones mediante el análisis de sus resultados, lo que lleva a un mayor conocimiento del escenario actual de tráfico en una ciudad, abriendo paso a las posibles soluciones que puedan mitigar los problemas operacionales encontrados (Solano, Terrones & Burgos, 2017).
- LEGION. Software comercial de microsimulación (extensión de AIMSUN NG) cuyo objetivo principal es la simulación de movimientos peatonales, donde sus aplicaciones en la geometría y diseño de la infraestructura están orientadas en el análisis de las

características de los peatones como tiempos de viaje, densidad y velocidad (Esquivel, 2011). Posee ciertas ventajas descritas por Priya y Taylor (2015):

- Provee modelos de microsimulación con tiempos de funcionamiento rápido.
- Modelación de peatones de alta calidad.
- Modelo integrado, es decir, permite la evaluación de la interacción entre vehículos y peatones.

Los insumos necesarios para la modelación peatonal en LEGION es simplemente la demanda de tráfico (flujos peatonales), diseño de la infraestructura y los datos operacionales como normas de tráfico (Alexandersson & Johansson, 2013).

- AIMSUN NG. Software comercial de simulación de tráfico estocástico utilizado para la modelación de redes viales. Desarrollado y comercializado por TSS – Transport Simulation Systems con sede en Barcelona, España. Permite simular todo tipo de elementos. Es una herramienta muy útil por la velocidad de sus simulaciones y la modelización de la demanda (Monterosso, 2015). Incorpora una interfaz gráfica afable para el usuario, un editor gráfico de redes que es capaz de soportar cualquier geometría de caminos y una importante base de datos para almacenar los resultados. Incluye una visualización de simulación animada el cual muestra los vehículos moviéndose a través de la red (Rodríguez, 2012).

2.3.2 Modelos de Simulación

La utilización a nivel mundial de simuladores de transportes aún es incipiente para diferentes fines, tales como: evaluación de alternativas a nuevos proyectos, implementación de un nuevo sistema de transportes, tarificación de peajes urbanos e interurbanos, elaboración de planes de movilidad, análisis económico de las alternativas, estimación de emisiones contaminantes, optimización de los tiempos semafóricos, etc. (Valladares, 2016). Para el análisis operacional de tráfico vehicular se recurre a estas herramientas computacionales que permiten conocer el escenario en el cual se pretende trabajar, razón por la cual se han desarrollado modelos que se clasifican dependiendo de la perspectiva de los resultados que se tenga por objetivo (Solano, Terrones & Burgos, 2017). Por lo tanto, de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada inicialmente, es posible evidenciar tres enfoques de modelos de simulación de tráfico:

- Modelo Microscópico. Corresponde a una simulación muy detallada, captura el movimiento de cada vehículo y lo describe individualmente. Se utiliza principalmente para el modelado de pequeñas porciones de redes más grandes (Vallati, Magazzeni, Schutter, Chrpá & McCluskey, 2016). Para llevar a cabo la modelación, es necesario detallar exhaustivamente el entorno de simulación. La simulación microscópica es la herramienta más avanzada en el campo de la representación de tráfico vehicular que se pueda aplicar (Solano, Terrones & Burgos, 2017). Adicionalmente al hecho de requerir

grandes volúmenes de información para procesar y generar resultados precisos, el modelo microscópico se consolida entre varias simulaciones con un alto costo de tiempo y de recursos de procesamiento. (Ramírez & Sánchez, 2018).

- **Modelo Macroscópico.** Son capaces de simular y manejar grandes áreas, a costa de un mayor nivel de abstracción utilizando el comportamiento promedio de los grupos o flujos vehiculares, es decir, se centra en captar relaciones globales que se encuentran en los flujos (Vallati, Magazzeni, Schutter, Chrapa & McCluskey, 2016). Estos modelos macroscópicos, analizan el funcionamiento con un bajo nivel de detalle, representando el comportamiento en términos generales del flujo, cuyas ecuaciones que los gobiernan están tomadas de analogías de mecánica de fluidos como el flujo de líquidos, gases o relaciones empíricas entre estas cantidades y su razón de cambio (Ortega, 2014).
- **Modelo Mesoscópico.** En este modelo se pueden crear grupos de vehículos con similares características tales como tamaño, velocidad, tiempos de viaje, etc. El modelo mesoscópico presenta un comportamiento más sintetizado que el macroscópico, pero menos que el microscópico por lo que se considera rango medio para su aplicación en simulación de tráfico. Las restricciones de aceleración y desaceleración no se usan, y no requieren la precisión de datos que necesitan los modelos microscópicos (Solano, Terrones & Burgos, 2017).

Los niveles de simulación se pueden apreciar en la siguiente figura:

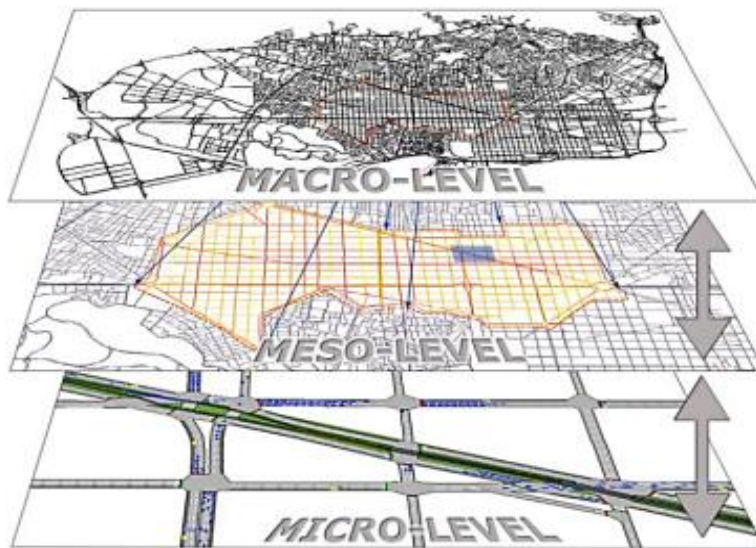


Figura 1. Niveles de simulación de tráfico. Fuente Christian Moyano (2017, p.44)

Para decidir qué tipo de simulador utilizar, es importante determinar el tipo de planificación que se quiere ejecutar, partiendo en los resultados esperados de la simulación y de la delimitación del área específica, es decir, si la planeación es de índole estratégica, se recomienda un macrosimulador, pero si el objetivo apunta a una planeación de índole operativa, su detallamiento es útil con un microsimulador (Valladares, 2016).

2.3.3 Fundamentos de la Microsimulación

- Generalidades

Los modelos de microsimulación de tráfico, son una de las herramientas más innovadoras actualmente disponibles para el análisis y evaluación de los efectos sobre la red de transportes, para el diseño y para el control de tráfico, además de proporcionar los elementos necesarios para analizar cuantitativamente con alto nivel de detalle, permitiendo reproducir y visualizar de manera realista la circulación de los vehículos (Monterosso, 2015). Los modelos microscópicos de tráfico se originaron en la década del 50, sin embargo, no hubo computadores capaces de usarlos en la práctica hasta fines de los 80. Desde esa fecha, su enfoque ha estado orientado en el movimiento longitudinal de los vehículos analizando la dirección en las que ellos avanzan. Sólo en la última década los movimientos laterales como cambios de pista, han ido cobrando importancia (Delpiano, 2015). Estos simuladores incluyen diferentes componentes para representar de la mejor manera las maniobras realizadas por los conductores. Actualmente, la mayoría de los microsimuladores producen resultados gráficos con animaciones bidimensionales y tridimensionales representando las condiciones instantáneas de la red (Monterosso, 2015). Los modelos de microsimulación son estocásticos con generación de tráfico y características operacionales de vehículo – conductor que se originan de distribuciones estadísticas con valores aleatorios. Parte de estas características son:

- Vehículo: tipología, geometría, velocidad, aceleración y desaceleración máxima.
- Conductor: tiempo de reacción, velocidad deseada y agresividad.

Una red de transporte en un modelo de microsimulación es representado por arcos y nodos. Los arcos, representan vías con diferente operatividad y diseño, mientras que los nodos, representan las intersecciones o zonas en el cual un arco es modificado (Zúñiga, 2010). En los microsimuladores se permite establecer el nivel de agresividad del conductor, y cuando este valor ajustado es alto, el comportamiento simulado es más cercano a lo observado (Montenegro, 2013).

- Modelos de Microsimulación

Los modelos de microsimulación se consideran como representaciones complejas de un escenario de tráfico, el cual requiere el uso de herramientas computacionales y programas especializados para su construcción, configuración y calibración (Montenegro, 2013). El Transportation Research Board, citados por Montenegro (2013, p.2), los define como “modelos matemáticos donde se experimenta con eventos de tráfico en una infraestructura de transporte durante períodos de tiempo definidos”. Los softwares de microsimulación de tráfico emplean varios sub-modelos, donde cada uno de ellos trata de reproducir el mecanismo de una decisión tomada por un conductor. Cada sub-modelo incluye varios parámetros, y un modelo completo de microsimulación incluye muchas docenas más de parámetros cuya medición directa es altamente compleja, con características que son difíciles de aislar porque se requiere una alta recopilación de datos y equipos con una gran capacidad de almacenamiento y procesamiento. Los principales sub-modelos que intentan reproducir el comportamiento orientados en los

conductores, son los modelos de seguimiento vehicular, cambio de pista y aceptación de brecha para modelar en detalle la interacción y maniobrabilidad de los vehículos en una red (Hollander & Liu, 2008). La lógica de **Seguimiento Vehicular** determina las decisiones de aceleración de un vehículo conforme a las circunstancias, moderando la velocidad al acercarse al vehículo que lo precede. Si no hay vehículo que lo precede, el conductor acelerará hasta alcanzar la velocidad de circulación libre (Delpiano, 2015). El modelo de Seguimiento Vehicular, el cual fue desarrollado por Wiedemann en 1974, siendo perfeccionado en los años posteriores, supone que un conductor se encuentra en uno de los cuatro modos de conducción que se presenta a continuación (Solano, Terrano & Burgos, 2017):

- **Conducción Libre:** En este modo el conductor tiene por objetivo mantener constante una cierta velocidad, lo cual es muy difícil de conseguir, pero, oscila en torno a la velocidad deseada representando el control imperfecto del acelerador.
- **Aproximación:** Corresponde a la adecuación de la velocidad propia del conductor debido a la presencia de un vehículo que lo precede y que se mueve a una velocidad inferior. Durante el proceso de adaptación de velocidad, el conductor desacelera tal que la diferencia de velocidades entre ambos vehículos tiende a cero en el momento que se alcanza la distancia de seguridad deseada.
- **Seguimiento:** Una vez que el conductor alcanza la distancia de seguridad deseada en relación con el vehículo que lo precede, esta distancia se mantiene aproximadamente constante, sin embargo, la diferencia de velocidades oscila en torno a cero debido a la imperfección tanto del control del acelerador como de la distancia estimada.
- **Frenado:** Si el vehículo que lo precede cambia repentinamente de velocidad, la tasa de desaceleración cambia desde un nivel medio a alto, dado que, la distancia entre estos vehículos se reduciría siendo menor que la distancia de seguridad deseada. Lo anterior puede suceder si un tercer vehículo que se ubica delante del vehículo observado frena ó varía su velocidad.

Continuando los trabajos de Wiedemann en relación con los modelos de seguimiento vehicular, Gipps en 1980 propone una extensión de estos, con el modelo de *Collision Avoidance* completando los cimientos en los cuales se basan los simuladores AIMSUN y CORSIM. Este modelo de seguimiento vehicular desarrollado por Gipps, está controlado por dos componentes: aceleración y desaceleración, donde el primero tiene por objetivo representar la intención del vehículo para alcanzar una velocidad deseada, mientras que el segundo, que cada vehículo simulado logre evitar el choque con el vehículo del frente debido a imprevistos en el camino (Molina, 2018). En resumen, este modelo incorpora en su formulación la existencia de la velocidad deseada y la voluntad de los conductores por tratar de evitar la colisión. Por su parte, los simuladores PARAMICS y VISSIM basan su funcionamiento en los modelos *Psychophysical* desarrollado por Fritzsche en 1994, cuya naturaleza apunta principalmente a un espaciamiento temporal que posee cada vehículo en circulación traducidos en “segundos de distancia” entre las posiciones del vehículo de interés y aquel situado en frente. Otro aspecto importante que diferencia ambos modelos de seguimiento vehicular es que en el modelo de Gipps, las restricciones de velocidad de un vehículo alteran el comportamiento del vehículo que se encuentra detrás, provocando que este desacelere o acelere en cada instante discreto de simulación, mientras que el modelo psicofísico no modifica su comportamiento en cada instante

discreto, si no que espera llegar a umbrales establecidos para hacerlo (Stefoni, 2018). Una comparación entre softwares comerciales de microsimulación desde una perspectiva de los submodelos que los gobiernan se encuentra en el Anexo C de la presente Memoria.

La lógica de **Cambio de Pista** es más compleja que el de seguimiento vehicular, esta, se basa en la toma de decisiones que varían según el objetivo, ya sea por la necesidad de aumentar la velocidad o bien, realizar un determinado viraje. Gipps en 1986, desarrolló un modelo llamado *Gap Acceptance* que representa el comportamiento como un proceso de decisión y aceptación, analizando (Zúñiga, 2010):

- ¿Es necesario cambiar de pista?
- ¿Es deseable cambiar de pista? (se requiere verificar que cambiar de pista mejore las condiciones del tránsito).
- ¿Es posible cambiar de pista? (se requiere verificar que existe suficiente brecha para realizar el cambio).

Para la decisión distingue entre cambios necesarios y cambios deseables. El cambio de pista es necesario cuando el conductor se aproxima a un giro o salida, mientras que, en la zona previa, es deseable (Delpiano, 2015). Entonces, el proceso de cambio de pista o carril se compone de tres fases: identificar la necesidad del cambio, definir la pista objetivo y, finalmente, analizar la factibilidad del cambio. La aceptabilidad del cambio de pista se basa en decidir si el espacio de la pista objetivo es suficiente tanto por delante como por detrás de la posición que se pretende ocupar, considerando la existencia de vehículos en la pista a una determinada velocidad relativa (V_b, V_a). Esta distancia real es descrita como Gap (g) y puede ser expresada en términos de tiempo o de espacio (Salvador & Robusté, 2000). La siguiente figura esquematiza lo anterior:

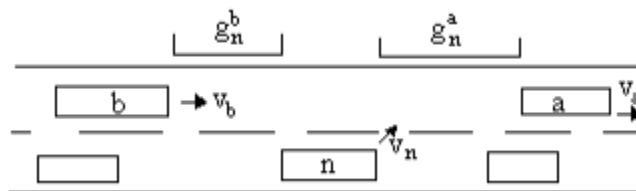


Figura 2. Aceptabilidad del cambio de carril basada en el gap espacial. Fuente: Salvador, I. & Robusté, F. Principios para la microsimulación del tráfico.

Finalmente se encuentran los modelos de **Aceptación de Brecha**, el cual se utiliza para representar el comportamiento en una cesión de paso, es decir, determina si un vehículo cede prioridad, cruzando o no, una intersección, lo cual depende de las condiciones de posición y velocidad que tenga el vehículo de mayor prioridad. La decisión de cruzar o no, es función del nivel del conductor. En este modelo, participan varios factores tales como, distancia de visibilidad en intersecciones, velocidad del viraje, velocidad deseada, tasa de aceleración, etc. (Zúñiga, 2010). En el trabajo de Jones, Steven en 2004, citado por Montenegro (2013, p.5), ejemplifica este modelo con un vehículo que espera girar a una calle principal desde una secundaria, o bien, un vehículo esperando en la línea de central para hacer un giro a la izquierda a través de un tránsito conflictivo. La brecha se mide en segundos y ante cualquier tiempo menor a ella, será considerada insegura y a consecuencia, rechazada. Los modelos de microsimulación de tráfico están basados en modelos de simulación de tiempo discreto

combinados con modelos de eventos. La naturaleza del microsimulador depende de las necesidades de lo que se desea simular.

- Modelos de tiempo discreto: Con ellos se caracteriza el comportamiento de los conductores. El tiempo total de simulación se fragmenta en intervalos discretos de tiempo en los cuales los conductores deciden que acción realizar en función de la situación que se encuentren.
- Modelos de eventos: Con ellos se caracteriza el comportamiento de los conductores, pero esta vez, considerando el efecto que ejercen los semáforos y otros sucesos puntuales que determinan un evento.

Para la **Elección de Ruta**, que es otro elemento importante en la teoría de transportes, la microsimulación se basa en que el costo generalizado de una ruta es el tiempo de viaje por esta, cuyo cálculo consiste en la suma de todos los costos de los arcos asociados a una ruta, por lo cual los vehículos eligen la más corta (Zúñiga, 2010). Saifuzzaman y Zheng en 2014, citados por Stefoni (2018, p.25), categorizan a estos modelos, que son los fundamentos de los softwares comerciales antes mencionados, como modelos de enfoque ingenieril, donde la principal crítica apunta a que carecen de la capacidad para simular situaciones de colisiones entre automóviles, siendo que el 75% de ellos, son errores del conductor y las ecuaciones matemáticas que gobiernan estos modelos, conciben de forma tal, que no hayan conflictos espaciales entre los elementos simulados. Muchos de ellos tampoco capturan la heterogeneidad en la población de conductores y sobreestiman la percepción de estos ante cambios pequeños de velocidad o espaciamiento entre vehículos.

- Microsimulación Peatonal

Los peatones son un grupo heterogéneo y sus características de tráfico como la velocidad y la aceptación de brecha se ven fuertemente afectados por factores tales como el propósito del viaje, la edad, la fuerza física, etc. En cuanto a su movilidad, los peatones tienden a tomar el camino más corto, por lo que son más impredecibles en el tráfico que los vehículos y a menudo hacen caso omiso a las reglas. Los modelos de simulación microscópica de tráfico se han convertido en herramientas ampliamente aceptadas para analizar e identificar problemas y soluciones para el tráfico vehicular, sin embargo, la microsimulación peatonal está todavía en su infancia. La investigación sobre el empleo de microsimulación para el análisis peatonal ha florecido en los últimos años, integrándose cada vez más en la simulación microscópica de tráfico (Alexandersson & Johansson, 2013). El uso de métodos informáticos para representar las acciones e interacciones de individuos autónomos, y el análisis y diseño de infraestructura peatonal, deriva de la necesidad de examinar grandes cantidades de datos, utilizando métodos computacionales complejos satisfaciendo variables requeridas de diseño, entradas y salidas. Entre los softwares de simulación peatonal mayormente empleados se encuentra el Viswalk como complemento de Vissim y Legion como complemento de AIMSUN NG. Estos, utilizan el modelo de fuerza social, el cual representa el comportamiento estocástico de los peatones evaluando los efectos de la heterogeneidad de estos (Dipika, 2014).

- Modelo de Fuerza Social

Modelo desarrollado en la Universidad de Stuttgart por Helbing y Molnar en 1995. Se basa en el supuesto de que una sumatoria de fuerzas actúan sobre el peatón arrojando como resultado una fuerza resultante llamada Fuerza Social la cual representa la motivación del peatón para realizar un determinado movimiento, y está compuesta por cuatro fuerzas (Álvarez, 2017):

- Fuerza Driving: Encargada de llevar al peatón a su destino.
- Fuerza Social de Repulsión: Encargada de alejar a un peatón de otro.
- Fuerza Wall: Encargada de alejar a un peatón de un obstáculo.
- Fuerza Noise: Componente estocástica del comportamiento peatonal.

Por lo tanto, el objetivo principal de los peatones según este modelo es acelerar hasta encontrar la velocidad deseada, viéndose influenciado por factores físicos y sociales, los cuales responden a fuerzas repulsivas como resultado de los límites de los objetos físicos y de la presencia de otras personas (Priya, Shankar, Prasad & Reddy, 2013). Se llama fuerza social porque no se trata de fuerzas físicas, ya que reflejan comportamiento más que verdaderas fuerzas (Delpiano, 2015). En el Anexo C se encuentra una comparación detallada entre softwares comerciales de microsimulación peatonal.

- Transporte Público

En los modelos de microsimulación, los servicios de transporte público se definen mediante tipología vehicular, identificación, rutas, frecuencias, pistas exclusivas para su uso y paraderos designados. El tiempo de parada, se modela indicando la demora en los paraderos conforme a las rutas de transporte público ingresadas, incluyendo la desviación estándar y, por otro lado, se modela con la demanda de bajada y subida de pasajeros en los paraderos cuyo tiempo de consumo varía funcionalmente entre los distintos simuladores (Zúñiga, 2010). En el Anexo C se presenta una comparación entre los softwares principales de microsimulación.

3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

3.1. Diagnóstico

Consiste en identificar los problemas que existen en los puntos urbanos seleccionados mediante una evaluación técnica determinando las causas que los originan. Estos problemas conflictivos radican en la operatividad, congestión, movilidad, seguridad, infraestructura y urbanismo. La finalidad del diagnóstico es proveer fundamentos técnicos para la formulación de alternativas de diseño (MESPIVU, 2013).

3.1.1. Estudios Base

Son los estudios requeridos para garantizar un diagnóstico acertado de las características físicas, operacionales y urbanísticas presentes en los puntos a examinar. Contemplan las siguientes actividades.

A. Recopilación de Antecedentes y Revisión Metodológica

- Revisión de Antecedentes

En esta actividad, se realiza la recopilación de antecedentes en organismos públicos y privados que pueden ser relevantes para los objetivos del estudio. Entre las entidades que deben ser contactadas para este propósito se encuentran:

- Municipalidades
- SERVIU
- Dirección Regional de Vialidad – MOP
- CONASET – MTT
- SEREMITT

En relación con los requerimientos de información para la realización del estudio, estos deben recopilarse en las oficinas regionales o a nivel central en caso de ser necesario y contempla como mínimo, lo siguiente:

Tabla 1. Antecedentes iniciales requeridos para la revisión. Fuente: Elaboración Propia.

Organismo	Antecedentes Solicitados
Municipalidad	<ul style="list-style-type: none">• Plan Regulador Comunal Vigente.• Días y ubicación de ferias libres.• Programación y Periodización de los semáforos que sean parte del estudio.• Antecedentes generales de los semáforos que sean parte del estudio (mantención, controladores, planos, administración, etc.).• Ordenanzas municipales que restrinjan la circulación de camiones.• Planos de la ciudad.• Proyectos viales en ejecución, pronta ejecución o en estudio.• Planos y Especificaciones Técnicas de refugio para paradero tipo.
SERVIU	<ul style="list-style-type: none">• Proyectos que contengan información de Mecánica de Suelos realizados en la ciudad.• Proyectos viales en ejecución, pronta ejecución o en estudio.

Vialidad – MOP	<ul style="list-style-type: none"> • Listado de caminos de tuición MOP en la ciudad objeto de estudio. • Proyectos que contengan información de Mecánica de Suelos realizados en la ciudad. • Proyectos viales en ejecución, pronta ejecución o en estudio.
CONASET	<ul style="list-style-type: none"> • Estadísticas de los accidentes ocurridos en los últimos 5 años en el entorno de los puntos del estudio.
Carabineros de Chile	<ul style="list-style-type: none"> • Estadísticas de los accidentes ocurridos en los últimos 5 años en el entorno de los puntos del estudio.
SEREMITT	<ul style="list-style-type: none"> • Rutas de Transporte Público para las ciudades objeto de estudio. • Red Vial Básica de las ciudades objeto de estudio • Estudios de Impacto sobre el Sistema de Transporte Urbano (EISTU) realizados en los últimos años en las ciudades objeto de estudio.

- Levantamiento de Información en terreno

En esta segunda actividad, se debe realizar una revisión en terreno de todos los puntos solicitados, donde en cada uno de ellos se generará un diagnóstico visual y técnico preliminar, el cual permitirá esbozar las posibles propuestas de solución a los conflictos y al mismo tiempo evaluar la posibilidad de descartar o reemplazar alguno de ellos. Esta tarea es esencial para adquirir una visión general del área de referencia, conocer el entorno en el que se desenvuelve el tránsito y definir las condicionantes para el diseño. Se recomienda que este prediagnóstico sea reportado en una ficha que resuma lo observado en terreno, los conflictos detectados y una propuesta de solución para cada punto. El MESPIVU (2013) indica que, un reconocimiento de terreno debe responder a las siguientes perspectivas:

- En el ámbito de transporte.
- En el ámbito de la infraestructura.
- En el ámbito del urbanismo y medioambiente.

Es de especial importancia la consulta a los agentes involucrados, estableciendo una instancia de participación de las autoridades locales, en la cual se busque recopilar otros antecedentes relevantes para el estudio y conocer sus visiones sobre las problemáticas del transporte, por lo tanto, es deseable que esta visita a terreno se realice en conjunto con el Director(a) del Estudio o contraparte encargada de la selección inicial de los puntos. Lo anterior, tiene por finalidad, planificar las mediciones de tránsito, acordar lineamientos generales del diagnóstico y posibles soluciones, como también, para identificar puntos candidatos a ser incluidos adicionalmente o en reemplazo de otro. Se entiende que algunos de ellos pueden perder prioridad frente a otros puntos que surgen como problemas más importantes, razón por la cual, esta actividad es necesaria para la validación de los puntos objeto de estudio. Estos eventuales nuevos puntos podrán ser indicados por el Director(a) del Estudio o propuestos por el Consultor. La selección definitiva se lleva a cabo en el marco de la siguiente actividad.

- Selección definitiva de puntos y ajuste metodológico

Con la recopilación de antecedentes y en acuerdo con el Director (a) del Estudio, se presenta una propuesta definitiva de los puntos a desarrollar. Esta actividad, debe realizarse al inicio del estudio, dado que todas las actividades y procedimientos posteriores se basan en esta definición y en el contexto de generar una metodología coherente, no será posible realizar modificaciones a los puntos una vez iniciados los trabajos de topografía, catastros, mediciones, entre otros. Una vez validados los puntos que compondrán el estudio, en el marco de ajuste metodológico es requerimiento determinar lo siguiente:

- Las intersecciones en las cuales se medirán largos de cola.
- Los tramos de vía en los cuales se medirán tiempos de viaje o velocidad.

Esta información que proporcionan las mediciones, son complemento y soporte tanto del diagnóstico como de las propuestas de solución, así como también, son datos de entrada para validar la modelación del tráfico. Muchos de estos proyectos de puntos conflictivos, contemplan un número no menor de intersecciones y lo habitual, es realizar mediciones de flujos vehicular y peatonal en todas ellas, sin embargo, no ocurre lo mismo con las mediciones de largos de cola y velocidad, estos últimos suelen ser requeridos, en determinados puntos dentro del total que componen el estudio. El criterio para la selección de las intersecciones y tramos de vía para las mediciones señaladas radica en distintos factores, tales como, los puntos objeto de simulación, ya que, requieren de parámetros para validar el modelo; puntos que presentan importantes niveles de congestión y se necesita conocer la longitud de cola; puntos que evidencian conducción a alta velocidad y es necesario comprobar la magnitud de esta problemática; etc. Dentro de las actividades que contempla el ajuste metodológico, se encuentra la definición del área de estudio donde se levantará topografía. Para acotar la zona de levantamiento topográfico y el área de catastros, se recomienda utilizar la imagen satelital Google Earth para establecer los límites del área a registrar en conjunto con el Director (a) del Estudio. Cabe mencionar que, el prediagnóstico generado a partir del levantamiento de información de terreno es determinante para establecer los límites del levantamiento topográfico, ya que condiciona las necesidades de este.

B. Estudios de suelos

- Levantamiento Topográfico

Las áreas en las cuales se pretende realizar modificaciones físicas de la plataforma vial y su entorno deberán poseer una representación confiable, apoyado sobre una base o poligonal referenciada, de tal forma que todo punto característico sea definible en coordenadas (x, y, z) y que todos los puntos de la vialidad proyectada deberán ser consistentes geoméricamente entre lo proyectado y lo existente (MESPIVU, 2013). Una vez acordada las áreas y límites donde se llevará a cabo la topografía, se procede a la realización del levantamiento. Estos, se ejecutan mediante instrumental óptico, electrónico u otro, acreditando su buen funcionamiento. Los procedimientos detallados de los tipos de levantamientos topográficos, procedimiento, control y características exigidas para los instrumentos se describen en el Capítulo 2.300 del Manual de Carreteras (2018). La planta topográfica deberá representar todos los elementos físicos que

existen en terreno, ya sea elementos puntuales, líneas y superficiales, permitiendo distinguirlos claramente en el plano. Esta planta, debe ser representada en un sistema de referencia ortogonal, el cual se funda en una base o poligonal y cuyos vértices pueden ser estabilizados en terreno mediante hormigón o clavos HILTI para de este modo, se pueda entregar coordenadas referenciadas (x, y, z) de los puntos existentes. En la misma planta, se debe representar la altimetría de la zona referenciada mediante curvas de nivel y la precisión recomendada es de 1:500 (MESPIVU, 2013). El levantamiento topográfico es una tarea esencial y de prioridad, dado que generará un Modelo de Situación Actual (MSA) para cada punto sirviendo de base tanto para el registro de catastros que se debe realizar posteriormente, como para los planos de proyectos de mejoramiento. Conforme a lo que indica el MESPIVU (2013), una topografía debe contener como mínimo bordes y eje de calzada; quiebre de pavimento; líneas de solera (normal, solerilla y rebajada); líneas de cierre; líneas de edificación; líneas prediales; líneas de postaciones; señales verticales; refugios peatonales; especies vegetales; instalaciones de servicios; líneas férreas; cámaras; aceras; bandejones; bermas; cauces y; curvas de nivel.

- Mecánica de Suelos

En los casos donde la mejora a los puntos conflictivos pase por afectar los pavimentos y por lo tanto requiera estudios de suelos para conocer la calidad de estos, se debe obtener información de la estructura del pavimento existente mediante los organismos SERVIU o MOP. En caso de ser necesario, y que la información solicitada no estuviese disponible, se deben realizar calicatas. Estas calicatas específicas deben ser entregadas en los proyectos respectivos de ingeniería acompañado de un informe de mecánica de suelos que debe incluir lo siguiente.

- Listado de pozos indicando su emplazamiento y profundidad.
- Resumen de los ensayos efectuados.
- Memoria de cálculo en la cual se determinen los parámetros de diseño.

El muestreo de las calicatas será sometido a ensayos de campo y de laboratorio, cuyas cantidades y procedimientos deben cumplir con lo que establece la Norma Chilena Oficial (NCh) o en su defecto, normas extranjeras que las definen y condicionan, para cada uno de ellos (MESPIVU, 2013). Si no se considera necesario la realización de calicatas, lo cual podría deberse a que el área donde se pretende proyectar la reparación o reposición de pavimentos sea menor, el especialista puede establecer supuestos adoptados en relación a la calidad del suelo sobre la base de su experiencia (MESPIVU, 2013), por lo que el diseño en zonas puntuales se puede llevar a cabo por medio de las Cartillas de Diseño Vial del SERVIU, considerando valores de suelo (CBR) más desfavorables.

C. Mediciones de Tránsito

Son estudios bases de transporte que tienen por objetivo recaudar el conjunto de datos en terreno que se requiere para desarrollar las diferentes actividades involucradas en el diagnóstico y modelación (MESPIVU, 2013). Una vez concluida la selección y validación de los puntos definitivos que contemplará el proyecto, al mismo tiempo, definida la planificación de

las mediciones de tránsito en conjunto con el Director (a) del estudio, se procede a ejecutar el programa de mediciones. Estas corresponden a:

- Mediciones continuas de flujo vehicular.
- Mediciones continuas de flujo peatonal.
- Mediciones de longitud de cola (medición periódica)
- Mediciones de tiempos de viaje o velocidad (medición periódica).

Las mediciones continuas se deben medir en todos los puntos que se estudien, y tienen por objetivo conocer la evolución de los flujos durante todas las horas del día en las cuales la actividad del tráfico es relevante, midiendo los flujos por lapsos prolongados e ininterrumpidos, mientras que las periódicas responden a las mediciones realizadas en un intervalo de tiempo (1 hora) representativo de cada período de análisis definido. Uno de los principales usos de las mediciones continuas, es establecer la periodización del área de referencia, definiendo los períodos punta del día. Si se pretende realizar las mediciones para representar el tráfico que existe en un día laboral, se recomienda que sea entre el martes a jueves, en el horario completo (MESPIVU, 2013). Es importante realizar las mediciones continuas de flujo en la edad temprana del desarrollo del proyecto, en lo posible durante las primeras semanas, considerando los días laborales indicados y cuyos resultados deben ser utilizados en el trabajo de periodización de tal manera para encontrar la hora móvil más cargada y representativa de cada uno de los tres períodos de análisis a saber, Punta Mañana, Punta Medio Día y Punta Tarde. Esta periodización debe ser aprobada por el Director (a) del Estudio y con ella, se procede a llevar a cabo las mediciones periódicas, vale decir, longitud de colas y velocidad. Para efectos del correcto desarrollo de estas actividades, se debe confeccionar previamente un Plan de Mediciones, el cual debe contener un cronograma indicando los puntos de medición, fechas y horarios y al mismo tiempo, este documento debe ser presentado al Director (a) del Estudio. Paralelamente, debe existir una planificación interna en la cual se cuantifique los requerimientos necesarios de la campaña de mediciones, comprendiendo básicamente dimensionamiento (necesidades de personal y otros materiales), diseño de formularios para la digitación de la información recabada de las mediciones, selección y capacitación de los medidores, logística (traslados, comunicación, planes de contingencia, etc.) y concluida las labores de medición en terreno, se procede a procesar computacionalmente la información.

- Mediciones continuas de flujo vehicular

La medición de flujo vehicular es potencialmente útil para establecer volúmenes, tipos de vehículos y movimientos que ocurren en el sector de emplazamiento del estudio, siendo parte de la información básica para el proceso de modelación, diagnóstico y evaluación de los puntos conflictivos. El procedimiento de medición puede efectuarse de manera continua y periódica, y por medios automáticos o manuales (MESPIVU, 2013). Para cada intersección y movimiento se deben medir 14 horas continuas de un día normal, comprendidas entre las 07:00 a 21:00 o 23:00, entre el martes, miércoles y jueves según recomienda el MESPIVU (2013). Se recomienda el uso de cámaras con el objetivo de realizar filmaciones continuas en el lapso indicado y a partir de este medio, realizar el conteo vehicular. En este contexto, el método empleado para las mediciones de flujo vehicular y peatonal consideran un grado de innovación en relación con las

metodologías tradicionales de medición, las cuales contemplan personal en terreno y que muchas veces, son distraídos por diferentes eventos que suceden en las calles comprometiendo la legitimidad de los conteos. Luego, cada video es enviado a oficina para el procesamiento de datos en gabinete, donde una dotación de medidores acorde al volumen de información se encarga de reproducir los videos y digitar los registros en una base de datos. Recorrer la zona de emplazamiento de los puntos es fundamental para la adecuada planificación de las mediciones, en el marco de que estas se realicen mediante filmaciones continuas, se debe revisar las postaciones existentes en el lugar, para identificar las idóneas para la ubicación de los dispositivos de grabación y se defina la ubicación exacta de cada uno de ellos garantizando que los ángulos de visión capten todos los movimientos vehiculares y peatonales que se realizan en cada punto. Previo a la medición, se debe elaborar diagramas de medición de movimientos vehiculares y peatonales, tanto para la planificación del trabajo, como para la presentación de resultados en materia de informe. La información debe ser procesada con totalizaciones cada 15 minutos, considerando como tipología de vehículos liviano (automóviles, camionetas, todoterreno, etc.), taxi colectivo, taxi básico, bus urbano o rural, taxi bus, bus interurbano, camión de 2 ejes, camión de más de 2 ejes, bicicleta y motocicleta.

- Mediciones continuas de flujo peatonal

Esta medición se debe realizar en todos los puntos que contempla el estudio, considerando los movimientos presentes en el estos. Al igual que en la medición continua de flujos vehiculares, se debe medir 14 horas continuas entre las 07:00 y 21:00 horas de un día normal, y para estos efectos, también se recomienda el método por medio de filmaciones continuas mediante cámaras instaladas en el sector permitiendo entregar una alta calidad de los datos verificables en cualquier momento. Siguiendo este método, en gabinete se revisan la información registrada por las cámaras digitando en formularios los resultados observados de flujo peatonal. En dicho formulario, los flujos medidos se deben ingresar por cuarto de hora (cada 15 minutos) con los movimientos correspondientes.

- Mediciones de Longitud de Cola

Esta actividad se realiza con la finalidad de contar con información que permita realizar un diagnóstico relacionado con el nivel de saturación presente en el punto. La información de la longitud de cola indica si la solución que se está adoptando va en la dirección correcta para resolver problemas de congestión. En este contexto, se debe medir la longitud de cola media, máxima y excedente en las intersecciones en las cuales se resuelva realizar estas mediciones periódicas. La determinación relacionada con el número y ubicación de los puntos donde se pretende medir se define en conjunto con el Director (a) del Estudio en la planificación de las mediciones. La medición del largo de cola, se deben realiza en un día laboral normal, en los 3 períodos de análisis de acuerdo con la especificación del MESPIVU (2013). La metodología depende del tipo de regulación que exista en la intersección, vale decir, si corresponde a una regulación de prioridad o semaforizada. En una intersección semaforizada, la formación y disipación de colas sigue un proceso que se repite ciclo a ciclo generando dos variables de interés para el diagnóstico y validación del modelo, la longitud de cola excedente y la de cola

máxima. La primera corresponde al número de vehículos que existe en una pista al momento de comenzar el rojo efectivo y que se encontraban en el verde anterior y no alcanzaron a descargar, mientras que el segundo, corresponde al número máximo de vehículos que existe en una pista al momento que empieza el verde efectivo (MESPIVU, 2013). Esta medición se realiza considerando los accesos y la línea de detención, registrándose en cada ciclo semafórico y presentando esta información gráficamente para facilitar el análisis. Para el caso de una intersección de prioridad, no hay cola excedente dado que no existen ciclos semafóricos, por lo cual sólo interesa la cola máxima. La metodología que se recomienda usar consiste en registrar el largo de cola cada 30 segundos y promediando el valor cada 5 minutos, obteniendo finalmente 18 registros en los 90 minutos de medición (15 min. antes y después de la hora de análisis). En cuanto a la elección de los puntos en los cuales se pretende realizar esta medición periódica de tránsito, se debe realizar en los que presenten mayor congestión en el área de referencia (MESPIVU, 2013).

- Mediciones de tiempos de viaje o velocidad

El objetivo de esta tarea es medir velocidades de los automóviles en determinados tramos del área de estudio. Los tramos seleccionados para esta medición, se resuelve en conjunto con el Director(a) del Estudio en la instancia de planificación de mediciones de tránsito. Esta medición periódica se debe realizar en los días laborales normales en cada uno de los períodos de estudio utilizando la metodología más apropiada dentro de las que indica el MESPIVU (2013, p.111).

- Periodización

La heterogeneidad del tráfico se refiere a la existencia en condiciones reales de una gran tipología de vehículos que circulan por las vías urbanas con importantes diferencias, entre ellas destacan desde las características físicas como el tamaño y la longitud, o bien, operacionales, como la velocidad y aceleración. A pesar de que, en la realidad, es poco probable encontrar homogeneidad en la circulación, es necesario traducir corrientes de distintas características en corrientes homogéneas como estrategia para incluir la heterogeneidad en el análisis (Gibson, 2001). Por lo tanto, se debe realizar una conversión de flujos de distinto tipo de vehículos, a vehículo equivalente (veq), basado en lo indicado por el MESPIVU (2013). Esto, se realiza por medio de ciertos factores de equivalencia. Se recomienda el uso de los siguientes factores.

Tabla 2. Factores de Equivalencia para homogenizar flujos. Fuente: Elaboración propia, basado en lo indicado por el MESPIVU (2013).

Vehículo Liviano	Taxi Colectivo	Taxi Básico	Bus	Taxibus	Bus Interurbano	Camión 2 ejes	Camión +2 ejes	Bicicleta	Moto
1,00	1,25	1,00	2,00	1,65	2,00	2,00	2,50	0,30	0,50

Para la definición de períodos homogéneos se puede utilizar los flujos vehiculares. Los períodos que se modelan generalmente son las horas punta y hora fuera de punta cuando se solicite. El

procedimiento consiste en utilizar los flujos vehiculares medidos de forma continua cada cuarto de hora (cada 15 minutos) en día laboral, y convertirlos a vehículos equivalentes (veq) expresándolos en unidades de veq/h. Luego se procede a construir una media móvil horario sumando los flujos de todos los puntos para cada uno de los cuartos. De esta manera se crea la variable FT_j y se obtiene los flujos totales con la siguiente expresión (MESPIVU, 2013).

$$FT_i = \frac{1}{4} \sum_{j=i-3}^i FT_j \quad i = 4,5, \dots$$

Ecuación 1. Variable hora móvil para periodizar a partir de flujos. Fuente: MESPIVU (2013).

Las horas punta quedan definidas por los mayores valores de FT_i en la mañana, medio día y tarde, estando compuestos por los cuartos i con sus respectivos tres previos (MESPIVU, 2013).

D. Catastros

Los planos topográficos sirven de base para registrar la información de los catastros, es decir, algunos de ellos se reportan sobre la base planimétrica elaborada en la topografía, manteniendo la misma escala 1:500. Los catastros que se deben entregar son los siguientes:

- Catastro de Pavimentos.
 - Catastro de Infraestructura Vial y Elementos del Entorno.
 - Catastro de Transporte Público.
 - Catastro de Accidentes de Tránsito.
 - Catastro de Señalización y Demarcación.
 - Catastro Operativo y Normativo.
 - Catastro Urbanístico y de Paisajismo.
 - Catastro de las características adicionales a las viales.
 - Catastro de Luminarias.
 - Catastro Fotográfico y Fílmico.
 - Catastro de Servicios Simplificado.
- Catastro de Pavimentos

La condición funcional del pavimento se refiere a la cuantificación de la dificultad que presenta el paso de vehículos sobre la calzada. En ella, se han establecido indicadores como el índice de serviciabilidad (p) y el International Roughness Index (IRI). El primero, corresponde a un concepto que combina la irregularidad superficial con el deterioro estructural del pavimento, mientras que el segundo, es un indicador normalizado de la irregularidad del pavimento y se aplica a modelos de costo de los usuarios, donde su estimación habitual se realiza a través de una escala de apreciaciones descriptivas (MESPIVU, 2013). El Catastro de Pavimentos requerido en estudios de puntos conflictivos cuyas medidas de solución son de bajo costo, se realiza sobre toda la calzada del área de estudio con la finalidad de definir el índice de serviciabilidad de pavimentos. Las bases técnicas de estos proyectos, habitualmente, brindan

la flexibilidad de que el consultor proponga un método para la estimación del índice, el cual consiste básicamente, en recolectar la información apreciable visualmente del estado y de las características de la superficie del pavimento, identificando áreas homogéneas para estimar el indicador (MESPIVU, 2013). Para desarrollar este catastro, se recomienda utilizar una ficha diseñada para cada punto a estudiar, registrando en ella, el tipo de pavimento por tramos homogéneos y reportando los insumos necesarios para el cálculo del índice de serviciabilidad. Generar este catastro es fundamental para evaluar las necesidades de mejoramiento de la carpeta de rodado en los tramos de vías considerados, y al mismo tiempo, para el diseño de nuevos pavimentos si los proyectos de solución lo requieren. Se recomienda realizar un diagnóstico visual del estado de los pavimentos, donde se estime directamente en terreno los coeficientes asociados a la rugosidad longitudinal, intensidad de grietas, parches y deformación transversal según el tipo de pavimento auscultado. Los coeficientes indicados para cada punto de muestra se definen a continuación (CITRA, 2018).

Tabla 3. Coeficientes de Rugosidad Longitudinal para la estimación del índice p. Fuente: CITRA, 2018.

Rugosidad Longitudinal	C1
Perfectamente Lisa	1
Algo Rugosa	2
Medianamente Rugosa	3
Rugosidad Alta	4
Extremadamente Rugosa	5

Tabla 4. Coeficientes de Intensidad de Grietas y Parches para la estimación del índice p. Fuente: CITRA, 2018.

Intensidad de Grietas y Parches	C2
Ausencia de Grietas	1
Escasamente Agrietado y Parchado	2
Fuertemente Agrietado y Parchado	3
Extremadamente Agrietado y Parchado	4

Tabla 5. Coeficientes de Deformación Transversal para la estimación del índice p. Fuente: CITRA, 2018.

Deformación Transversal	C3
Sin Deformación Transversal ni Ahuellamiento	1
Medianamente Deformado y Ahuellado	2
Fuertemente Deformado y Ahuellado	3

Las expresiones para el cálculo del índice de serviciabilidad por tipo de pavimento según indica el MANVU (MIDEPLAN, 1992):

$$\text{Pavimento de Hormigón: } p = 5,8 - 0,8 * C1 - 0,5 * C2$$

$$\text{Pavimento de Asfalto: } p = 5,4 - 0,8 * C1 - 0,1 * C2 - 0,3 * C3$$

Ecuación 2. Expresiones para el cálculo del índice de serviciabilidad. Fuente: MIDEPLAN, 1992.

En el contexto de aplicar la auscultación sobre tramos homogéneos, se definen aquellos segmentos que posean características similares para posteriormente evaluar los parámetros anteriores. El detalle de esta representación se debe realizar en planos escalados a 1:500 en los cuales, para la finalidad de graficar los resultados, se utilizará una escala de valor según los siguientes parámetros (CITRA, 2018):

- Pavimento en Mal Estado, si $p \leq 2$
- Pavimento Regular Estado, si $2 < p \leq 3$
- Pavimento en Buen Estado, si $p > 3$

El estado de las veredas afecta fuertemente la calidad de la movilidad peatonal y condiciona la accesibilidad al sistema de transporte público por lo que incluir un catastro de veredas en el Catastro de Pavimentos es importante. En el marco de la presente actividad, se clasificarán las veredas conforme a su estado, diferenciando si estas son de hormigón, asfalto o baldosas. Finalmente, cabe mencionar que, el procedimiento descrito para definir el índice de serviciabilidad, está basado en la tradicional Metodología Simplificada de Preparación y Evaluación de Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano. Desarrollada por el MIDEPLAN en 1992, es la metodología que sugiere el MESPIVU (2013) para auscultación simple de pavimentos siendo al mismo tiempo, la más usada en Chile para estudios urbanos menores.

- Catastro de Infraestructura Vial y Elementos del Entorno

La representación física y funcional de la situación actual del área de estudio debe mostrar el espacio público objeto de diseño sirviendo de fundamento para el diagnóstico. La finalidad de este catastro es permitir identificar las condicionantes relevantes de diseño que deben resolver las soluciones que se pretenden proponer para lograr los objetivos del proyecto, razón por la cual, el diseño vial urbano requiere una descripción de la situación actual de las superficies que conforman la plataforma vial, sus funcionalidades y los objetos relevantes que existen sobre ella (MESPIVU, 2013). Teniendo como base las actividades de Levantamiento de Información en Terreno y la Topografía, se debe generar una ficha en la cual se registre en cada punto lo siguiente:

- Aceras y berma, incluyendo su ancho, materialidad, ubicación y estado de conservación.
- Ciclovías o ciclobandas, incluyendo su ancho, materialidad, ubicación y estado de conservación.

- Bahías.
- Dispositivos de rodado, su estado y cumplimiento normativo.
- Obras en ejecución.
- Edificaciones relevantes.

- Catastro de Transporte Público

Este catastro tiene por finalidad recoger las características operacionales necesarias para el diagnóstico, diseños y modelación de transporte. Se realiza a partir de la información registrada de los servicios de transporte público de pasajeros autorizados que administra la SEREMITT (MESPIVU, 2013). Usualmente, este registro se compone de una base de datos, que identifica las empresas de buses y taxis colectivos que prestan servicios en la región con su respectivo Nombre, Rut, Folio, Recorrido, Comuna, entre otros. La existencia y ubicación de paraderos con su respectivo refugio peatonal en la zona de estudio, queda registrado en el levantamiento planimétrico del punto (Topografía). A partir de la información recopilada, se recomienda generar mapas de rutas del transporte público diferenciando si se trata de buses urbanos, rurales y/o taxis colectivos, trazando en ellos, los recorridos de los servicios que ingresan al área de estudio.

- Catastro de Accidentes de Tránsito

La recopilación de los antecedentes relacionados con accidentes de tránsito se obtiene desde la base de datos de Carabineros de Chile, o en su defecto, se debe solicitar a la CONASET. Estos antecedentes deben proporcionar, como mínimo número de accidentes por año, tipo de accidentes, causas de los accidentes, número de lesionados según gravedad, localización del accidente (MESPIVU, 2013). Estos antecedentes deben corresponder a los accidentes ocurridos en área de estudio en los últimos 5 años (IRL, 2018). Este es un período de tiempo razonable para poder evaluar la tasa de accidentabilidad ya que períodos más extensos podrían no representar la realidad actual del punto y, por otro lado, el lapso indicado es el tiempo requerido para el Análisis de Justificación de Semáforos, cuyos alcances y procedimientos se encuentran detallados en el Manual de Señalización de Tránsito, Capítulo 4 “Semáforos”.

- Catastro de Señalización y Demarcación

El Catastro de Señalización y Demarcación debe describir la operatividad del punto y de las vías en el área de referencia, sirviendo de base para el diagnóstico y como información de entrada para la modelación. La información recogida en cada punto debe presentarse en fichas y esquemas en planta, y debe contener como mínimo, señalización y demarcación existente, reglamentaria e informativa, indicando su estado de conservación y normativo; presencia de señales que no correspondan al estudio (ejemplo, propagandas); emplazamiento de la señalización; sentido de circulación de las calles, indicando si en ella se aplica esquemas de reversibilidad y horarios respectivos; tipo de regulación del punto, incluyendo lámparas, cámaras, postes, ganchos, controladores, programación y fases cuando corresponda a una intersección semaforizada; número de pistas existentes y señalando su especialización;

longitud de las vías considerada como área de estudio; características geométricas del espacio vial (ancho de pistas, aceras y cruces peatonales); localización y características físicas de los paraderos de transporte público; localización de áreas de estacionamiento y los horarios de uso asociados (MESPIVU, 2013). Se recomienda que la elaboración del esquema de planta sea en un plano y debe realizar a escala 1:500 y sobre la base de la topografía

- Catastro Normativo y Operativo

Se debe realizar un análisis normativo del área de emplazamiento de los puntos en el cual se indique la forma en la que opera tanto la intersección, como los ramales (vías) que la conforman. Para ello, se debe recabar cierta información tal como tipo de vías que componen el punto, categoría de las vías, anchos de faja normados, anchos de calzada, número de pistas, sentido del tránsito, regulación existente en el punto y presencia de estacionamiento. Se debe catastrar también, la tuición de las vías comprometidas en cada punto, las que pueden corresponder al MOP o SERVIU. Esta información es primordial debido a que los requerimientos de los proyectos de diseño pueden variar conforme a la tuición a la cual pertenezcan las vías. Estos organismos del estado podrían tener otros requerimientos conforme a la tuición de sus vías en las cuales se pretende intervenir, por lo cual es importante, recoger estos requerimientos mediante reuniones o instancias que lo permitan. El Plan Regulador Comunal (PRC) es una importante fuente de información para recaudar los datos antes señalados, en ella se encuentra la Red Vial Estructurante de la ciudad o comuna respectiva donde se emplaza el proyecto de puntos conflictivos, en la cual se especifica las principales características geométricas y operacionales de las vías que componen dicha red. El PRC se debe solicitar en el municipio de la ciudad.

- Catastro Urbanístico y de Paisajismo

Consiste en localizar los centros de atracción y generación de viajes en el entorno de los puntos, con la finalidad de comprender la dinámica de ellos. Estos sectores corresponden a Hospitales, Colegios, Servicios Públicos, etc. Para esta actividad se sugiere realizar un recorrido completo por la zona de emplazamiento de los puntos y de sus alrededores con la finalidad de identificar el sistema de actividades, condicionantes urbanas y ambientales que tengan alguna influencia en el área. Del mismo modo, se debe indicar elementos paisajísticos que podrían ser de especial interés para el proyecto, tales como, vistas, áreas verdes, tratamiento de ciclovías, entre otros, con la finalidad de considerarlos en los diseños de solución. Para favorecer la comprensión, es recomendable apoyar la memoria explicativa de este catastro con una imagen aérea o esquema de la intersección.

- Catastro de las Características relevantes adicionales a las viales

Teniendo como base el levantamiento planimétrico se registra la ubicación de elementos tales como canales de regadío, obras de arte, puentes, pasos de nivel, líneas férreas y edificaciones de carácter patrimonial o turístico (IRL, 2018). Estas singularidades, en caso de que existiesen, deben ser identificadas en el plano de topografía.

- Catastro de Luminarias

En cada uno de los puntos se debe identificar los servicios de luminarias que presentan redes aéreas, estableciendo sus características básicas en términos del tipo de postes. Se utilizan los antecedentes planimétricos del levantamiento topográfico para establecer la ubicación de sus elementos. En este contexto, el registro de esta información debe ser graficado en plano a escala 1:500 con los elementos catastrados. Esta información básica es suficiente para los fines del proyecto, debido a que contempla soluciones de bajo costo, donde los servicios no son intervenidos ni modificados, por lo tanto, sólo se requiere saber la ubicación y la materialidad de ellos.

- Catastro de Servicios Simplificado

La información de instalaciones de servicios consiste en identificar todos los elementos existentes en el área de estudio, la cual debe ser equivalente a la levantada por la topografía (MESPIVU, 2013). En este contexto, se debe levantar las características de todas las cámaras del área indicando en cada caso a que corresponde con el mayor grado de precisión que sea posible con la información que esté a la vista, fundamentalmente en las tapas de estas. En ese sentido, no se considera la apertura de las cámaras, ni la obtención de información de los servicios, por ello, en ocasiones si bien se identifica las cámaras, no se tiene la certeza sobre cuál es el servicio al que pertenece. Esta actividad se considera de gran importancia dado que, es deseable que las medidas de baja inversión a implementar tengan nula afectación posible a los servicios existentes, por motivos de minimizar costos y fundamentalmente de plazos.

- Catastro Fotográfico y Fílmico

Consiste en un set fotográfico y fílmico que muestre los elementos más relevantes de los puntos. En este contexto, para cada punto se debe considerar como mínimo vistas generales de la intersección; vista desde la intersección hacia cada una de sus ramas y un video con vistas generales de la intersección, cuya duración mínima sea de 3 minutos por punto, en el cual se describa sus características principales. En esencia, las características que deben evidenciar las fotografías tomadas corresponden a vías y sus respectivos pavimentos; señales verticales y horizontales; veredas, aceras y rutas peatonales, y paraderos. Se sugiere que las mediciones continuas de flujo vehicular y peatonal se realicen a través de filmaciones en video, generando una filmación continua de 14 horas en cada punto desde al menos dos ángulos diferentes.

3.1.2. Modelación del Escenario Actual

Consiste en una representación topológica y operativa de los principales elementos de la oferta y demanda de transporte. El objetivo de modelar la situación actual es disponer de un modelo que sea capaz de reproducir las condiciones operativas que existen en el punto y permitir identificar la necesidad de dispositivos en sectores específicos, considerando especialmente la condición de los flujos en los períodos más cargados (MESPIVU, 2013).

Desarrollar una simulación de tráfico de las intersecciones actualmente no se encuentra en las bases técnicas de los proyectos de puntos conflictivos impulsados por el MTT, razón por la cual queda a criterio del Consultor llevar a cabo esta actividad y, en el caso de considerarlo apropiado, debe ser este el que proponga los puntos que son idóneos para la modelación. Cabe destacar, que este es un trabajo muy relevante, debido a que en intersecciones de carácter urbano y cuya operatividad es compleja, no siempre es evidente identificar todos los problemas presentes en ella únicamente con visitas a terreno o mediciones de tránsito. Finalmente, simular el escenario actual del punto, permite a posteriori, compararlo con la modelación del escenario futuro con proyecto, convirtiéndose en una herramienta clave para corroborar que las soluciones propuestas resuelven efectivamente los problemas. Como se describió en el Capítulo de Marco Teórico del presente trabajo, específicamente en la sección de Modelos de Simulación, existen tres categorías de simulación de tráfico:

- Simulación Microscópica
- Simulación Mesoscópica
- Simulación Macroscópica

Las definiciones, características y comparaciones, se encuentran en dicho apartado. Para este tipo de proyectos, donde se estudia la operatividad de puntos conflictivos, se recomienda el uso de microsimuladores para desarrollar esta tarea. Lo anterior, se debe a que, entre otras características, esta herramienta simula el comportamiento vehicular y peatonal con un alto nivel de detalle. Barceló, J. (2010), citado por Molina (2018, p.33) indica que, la modelación de redes de transportes para llevar a cabo la microsimulación es un proceso que iterativo que comprende Construcción del modelo; Verificación, calibración, validación y; Análisis de resultados.

A. Construcción del Modelo

Hace referencia a la representación gráfica de las condiciones físicas y operativas de la red o intersección que se pretende modelar (Solano, Terrano & Burgos, 2017). Debido a la complejidad de un modelo de microsimulación comparado con los modelos tradicionales, posee extensos requerimientos de información de entrada, tanto para la construcción de la red, como para su posterior calibración y validación. Esta información puede ser dividida en dos grupos (Zúñiga, 2010).

- Información Estática (Características físicas y técnicas de la red). Esta puede ser obtenida a partir de planos, catastro operativo, fotografías, dibujos CAD, etc.
- Información Dinámica (Demanda de tráfico, transporte público y características operacionales vehículo - conductor). Esta puede ser obtenida a partir de mediciones de flujos, mediciones de velocidad, catastro de transporte público, etc.

B. Datos de Entrada

Los datos de entrada necesarios para la construcción del modelo se describen a continuación.

- **Características Generales:** Se refiere a la longitud, número de pistas y descripción geométrica de la red. En estas características se involucran los movimientos permitidos en la zona de estudio (Ramírez, 2018).
- **Flujos vehiculares:** Se ingresan los flujos vehiculares a través de matriz Origen – Destino o mediante Estados de Tráfico (vehículos entrantes, salientes y porcentajes de giro). Cada movimiento vehicular se configura en el nodo, que corresponde a la zona mediante la cual se conectan las vías.
- **Control de tráfico:** Incorporación de señales verticales ya sean de prioridad o semáforos, las cuales regulan la operatividad de la intersección. Para el caso de intersecciones semaforizadas, se debe generar el ciclo y los datos de cada fase (tiempos verde, rojo y ámbar).
- **Período de modelación:** Corresponde a la hora en la que se desea simular la intersección. Por lo general se modela para los períodos punta.
- **Tipos de Vehículos:** Esta configuración permite agrupar vehículos con características y comportamientos similares.
- **Transporte Público:** Se debe ingresar los planes de transporte público los cuales están compuestos por el tipo de vehículo, líneas, recorridos, paradas y frecuencias.
- **Velocidades:** Corresponde a la velocidad que se desea para cada tipo de vehículo. En otras palabras, hace alusión a la velocidad que se espera que el conductor viaje en flujo libre (Ramírez, 2018).

C. Datos de Salida

Las salidas del modelo corresponden tanto a la animación de la red de simulación que puede ser tanto en 2D y 3D, como a los datos que acumula el programa desde el inicio de la simulación hasta el final. La modelación permite generar los datos de salida para cada tipo de vehículo y para cada período simulado. Entre las más destacadas se encuentran:

- **Flujos vehiculares (veh/h):** Cantidad de vehículos simulados que pasan por un tramo de vía en el período de análisis. Este valor es entregado tanto para todos los tipos de vehículos ingresados, de manera individual, como conjunta.
- **Distancia total de viaje (km):** Hace referencia a la distancia total recorrida. Este valor es entregado tanto para todos los tipos de vehículos ingresados, de manera individual, como conjunta.
- **Número de vehículos (veh):** Corresponde a la cantidad de vehículos contados por el simulador en cada tramo de vía. Este valor es entregado para todos los tipos de vehículos ingresados, de manera individual y conjunta.

- Velocidad Promedio (km/h): Es la velocidad media de los vehículos en cada tramo de vía. Este valor es entregado para todos los tipos de vehículos ingresados, de manera individual y conjunta.
- Tiempo de demora (seg/km): Es la demora promedio que tienen los vehículos al pasar por cada tramo de vía. Este valor es entregado para todos los tipos de vehículos ingresados de manera individual y conjunta.
- Tiempo de parada (seg/km): Corresponde al tiempo medio de atraso en paradas. Este valor es entregado para todos los tipos de vehículos ingresados de manera individual y conjunta.
- Número de paradas: Hace referencia al número absoluto de detenciones de los vehículos en los tramos de vía. Este valor es entregado para todos los tipos de vehículos ingresados de manera individual y conjunta. La utilidad de conocer la cantidad de detenciones es que, a través de esta información, se puede estimar, además del tiempo de viaje mismo, otras cantidades de interés como lo es el consumo de combustible, emisiones, frenado y también es un indicador de peligrosidad.
- Cola Media: Corresponde al número promedio de vehículos que se encuentran en cola en los tramos de vía. Este valor es entregado para todos los tipos de vehículos ingresados de manera individual y conjunta.
- Tiempo de Espera en Cola (seg): Es el tiempo promedio consumido por un vehículo que espera en una cola. Este valor es entregado para todos los tipos de vehículos ingresados de manera individual y conjunta (Ramírez, 2018).

D. Verificación del Modelo de Simulación

Es fundamental verificar que tanto la geometría física de un dispositivo vial como las velocidades sean adecuadamente representada en el modelo, por lo que es necesario chequear que los vehículos se mueven correctamente por la red mediante una corrida visual. Cuando la geometría no es correcta, los vehículos realizan giros indebidos, movimientos irregulares, detenciones o reducciones importantes de velocidad. También se debe chequear y calibrar las velocidades máximas por sección, número de pistas y anchos de cada arco, el uso de ellas, las rutas de buses, entre otras características (Zúñiga, 2010).

E. Calibración del Modelo

La calibración es el proceso de diseño en el cual se pretende ajustar las condiciones modeladas a las condiciones observadas realizando determinados ajustes en los parámetros de la modelación. Es un proceso que se realiza conforme a la información y mediciones que se hayan recolectado en terreno (Hollander & Liu, 2008). En resumen, se debe verificar que los flujos vehiculares ingresados se asignen correctamente. Para lo anterior, Geoffrey E. Havers en 1970 desarrolló una fórmula de tolerancia en relación con el volumen continuo. Es una fórmula empírica que ha demostrado ser útil para una variedad de tráfico de redes (Priya, Shankar, Prasad & Reddy, 2013). Relaciona la diferencia absoluta y la diferencia porcentual entre los

flujos medidos y modelados (Valladares, 2016). El *Indicador Estadístico GEH* compara los flujos medidos y simulados en los arcos, su expresión se utiliza en la calibración del modelo y se representa matemáticamente de la siguiente manera:

$$GEH = \sqrt{\frac{(Flujos Medidos - Flujos Simulados)^2}{0,5(Flujos medidos + Flujos Simulados)}}$$

Ecuación 3. Estadístico GEH.

El criterio de calibración y validación establece los valores de la tabla 3.6. Si el 60% de los valores es menor que 5, el 95% menor que 10 y el 100% de los datos menor que 12 se puede inferir que la calibración de los flujos es aceptada.

Tabla 6. Criterio exigido para calibrar el modelo en base al GEH. Fuente: Ramírez (2018).

Criterio	GEH < 5	GEH < 10	GEH < 12
% Exigido	60%	95%	100%

Dowling, Holland y Huang (2002) establecen como criterio de aceptación para $GEH < 5$ un porcentaje de 85% para arcos individuales, reconociendo que el indicador *GEH* es el más utilizado en la literatura para medir el error en cada arco, lo que se traduce en que la mayoría de los arcos al interior de una simulación, tengan un error pequeño. Otro método para la calibración del modelo ampliamente utilizado es el *Coefficiente de Correlación R^2 (Pearson)*, que representa el grado de relación lineal que existe entre dos conjuntos de datos. Para este caso correspondería a los medidos en terreno contra los calculados por el simulador, mediante una regresión lineal por mínimos cuadrados (Valladares, 2016). Según Christian Moyano en su tesis de Maestría (2017, p.130), los valores de correlación entre flujos simulados y medidos en terreno deben tener un ajuste superior a 0,90 para que la simulación sea aceptable y 0,95 para las velocidades. Hollander y Liu (2008) realizan un estudio en el cual comparan diversos métodos de calibración para los modelos de microsimulación. Estas metodologías difieren en materia de principios, tales como objetivos y alcances, y en cuestiones técnicas, tales como la formulación y enfoque de solución. A pesar de que muchos autores tienden a usar diferentes herramientas estadísticas para la calibración y validación, Hollander y Liu afirman que es suficiente calibrar y validar un modelo utilizando las herramientas comúnmente usadas (*GEH*, *Pearson*, etc.).

F. Validación del Modelo

El objetivo de la validación es determinar que la modelación propuesta del comportamiento del conductor y del rendimiento del vehículo representan razonablemente la realidad (Dowling, Holland & Huang, 2002). La validación puede definirse, independiente del proceso de calibración, como una comparación de la salida del modelo con la información observada. Esta comparación puede contemplar aspectos de rendimiento tales como indicadores de tiempo de viaje (segundos, minutos y hora), velocidades o longitudes de cola. Los resultados reportados por los simuladores pueden ser observados de manera visual o analítica. (Zúñiga, 2010).

G. Análisis de Resultados

Con el modelo ya calibrado y validado, se procede a efectuar las corridas de simulación. Como se mencionó anteriormente, el modelo de microsimulación es estocástico de variables aleatorias, por lo tanto, para filtrar esta aleatoriedad, es importante realizar un número razonable de corridas. Con la opción de la simulación animada, es posible observar el comportamiento del tráfico vehicular y peatonal según corresponda, en el punto. Esto, es de gran utilidad para identificar problemáticas operacionales que son difíciles de observar con simple inspección en terreno o con las mediciones de tránsito, sirviendo de gran apoyo para el diagnóstico.

3.1.3. Revisión de Trayectorias del Escenario Actual

Los softwares de simulación de trayectorias son un importante complemento para el diagnóstico de la situación actual desde el punto de vista geométrico. Esta herramienta, permite verificar, para distintos tipos de vehículos, que las trayectorias que actualmente realizan los vehículos sean seguras, por lo tanto, se recomienda este chequeo en los puntos objeto de estudio.

3.1.4. Diagnóstico Definitivo de los Puntos

Una vez terminadas todas y cada una de las actividades antes descritas, se procede a realizar el diagnóstico definitivo de los puntos objeto de estudio. El diagnóstico definitivo de cada punto se genera con el levantamiento de información de terreno, la recopilación de antecedentes en los organismos y municipios, la elaboración de catastros, el procesamiento de las mediciones de tránsito, las filmaciones continuas de cada punto y las simulaciones respectivas de la situación actual, complementando y cerrando el diagnóstico preliminar que, en el marco de las primeras actividades, permitió la validación y definición de los puntos de estudio. En definitiva, los estudios base y las simulaciones permiten efectuar un diagnóstico

integral y crítico de los puntos objeto de análisis con una perspectiva de su operatividad, congestión, infraestructura, urbanismo, conflictos de interferencia entre los usuarios, seguridad, etc., que tiene por finalidad determinar el estado actual del punto y caracterizar el área de intervención, detectando sus restricciones y potencialidades, identificando aquellas características que puedan constituir impactos negativos o construir oportunidades para producir impactos positivos para el desarrollo y entorno urbano de los puntos (MESPIVU, 2013). Como consecuencia del diagnóstico definitivo, se debe elaborar una cartera de proyectos de bajo costo y ejecutables en el corto plazo, en la cual se realice un tratamiento del entorno por medio del desarrollo de soluciones urbanas orientadas a la gestión y optimización de la vialidad existente, generando un aporte a todos los usuarios del sector. Para integrar todas las perspectivas existentes en una intersección situada en ambiente urbano, el diagnóstico definitivo se compone por los siguientes elementos.

A. Diagnóstico Operativo.

Tiene por objeto identificar las causas y caracterizar los conflictos asociados a la operatividad del punto. Para lograr lo anterior, se debe realizar un análisis exhaustivo de las intersecciones y tramos de vía que conforman los puntos de estudio, en cuanto a su grado de conflicto entre los distintos movimientos y control de tráfico. En este diagnóstico se analizará lo siguiente.

- Operación y regulación del punto.
- Disposición y emplazamiento de la intersección.
- Operación del Transporte Público en el punto.
- Operación de bicicletas y peatones en la intersección.

B. Diagnóstico de Movilidad y Fluidez.

Se debe realizar un análisis crítico de las características y condicionantes de demanda y oferta en el espacio vial, en relación con la movilidad y fluidez que existe en el punto. Para lo antes expuesto, se abordará los siguientes aspectos.

- Demanda vehicular.

Está orientada a conocer de manera exhaustiva las distintas características que componen el tránsito de cada punto situado en el marco del estudio. Conforme a lo especificado por el REDEVU, la demanda vehicular se puede caracterizar en términos de la magnitud y composición del flujo, para lo cual, requiere de la realización de mediciones de flujos separadas de los distintos tipos de vehículos. Al mismo tiempo, se debe sistematizar la información disponible de las velocidades en los puntos que se hayan medido, de tal forma de identificar problemáticas asociadas al desplazamiento y conflictos operacionales de los vehículos.

- Demanda peatonal.

Se debe sistematizar la información disponible de flujos peatonales, con sus respectivos circuitos preferentes, de tal forma, de identificar problemáticas asociadas a su desplazamiento y movilidad.

- Demanda de ciclistas.

Se debe sistematizar la información disponible de volúmenes o flujos de ciclistas, con sus respectivos circuitos preferentes con la finalidad de identificar los problemas de desplazamiento y movilidad que pueden experimentar.

- Oferta vehicular.

Se debe sistematizar la información disponible de la geometría y capacidad de las vías, visibilidad en la intersección, velocidades, de tal forma de identificar causalidades de las problemáticas asociadas al desplazamiento y operación vehicular en los puntos objeto de estudio.

- Oferta peatonal.

Se debe sistematizar la información disponible de pendientes, interferencia a los circuitos, superficie de caminata desde la perspectiva de la materialidad, continuidad y conservación de tal forma de identificar posibles causalidades a las problemáticas al desplazamiento peatonal.

- Oferta para ciclistas.

Se debe sistematizar la información disponible de pendientes, interferencia a los circuitos, superficie de la ciclovía o ciclobanda utilizada por ciclistas desde la perspectiva de la materialidad, continuidad y conservación, de tal manera que permita identificar las problemáticas y sus causalidades del desplazamiento de ciclistas.

C. Diagnóstico de Accesibilidad.

Se debe realizar un análisis crítico de las vías, desde la perspectiva de la circulación, superficie y dimensionamiento. Se sugiere analizar al menos los siguientes.

- Accesibilidad peatonal.

Se debe sistematizar la información disponible respecto de la infraestructura para peatones, identificando situaciones de difícil accesibilidad para dichos usuarios.

- Accesibilidad para ciclistas.

Se debe sistematizar la información disponible respecto de la infraestructura de las vías para ciclistas, ya sea como infraestructura especializada o como superficies compartidas con otros usuarios, lo cual permite identificar situaciones de difícil accesibilidad para los ciclistas.

- Accesibilidad universal.

Se debe sistematizar la información disponible respecto de la infraestructura de las vías para personas con discapacidad permanente o transitoria, lo cual permite identificar situaciones de difícil accesibilidad para dichos usuarios.

D. Diagnóstico de Seguridad y Confort.

Se debe realizar un análisis crítico de las vías en relación con la seguridad y confort, implicando el estudio de los siguientes aspectos.

- Seguridad vial.

Se debe sintetizar la información catastral y de accidentabilidad disponible, de tal modo que permita generar un análisis de accidentes de tránsito de cada intersección, identificar problemas de señalización y demarcación, u otros elementos de regulación, conflictos en espacios comunes, velocidad, diseños inseguros, etc. Es importante realizar un análisis cualitativo causa-efecto entre accidentabilidad y características físicas y operativas de la intersección. Por ejemplo, análisis de radio de curvatura, regulación de intersecciones y gestor de conflictos.

- Seguridad ciudadana.

Se debe elaborar un reporte de las características del espacio vial urbano en perspectiva del espacio, control visual del espacio, iluminación y otros componentes que, en conjunto, inhiben o favorecen la sensación de seguridad de los usuarios.

- Seguridad peatonal y ciclista.

Se debe sintetizar la información catastral disponible para generar un análisis de las características del espacio vial urbano que puedan provocar situaciones de riesgo de accidentabilidad tales como irregularidades en el terreno, pendientes excesivas sin infraestructura de apoyo, estado deteriorado del pavimento en las vías destinadas a ciclistas o circulación de peatones, etc.

- Confort.

Se debe sintetizar la información catastral disponible para generar un análisis cualitativo de las características del espacio vial urbano que afecten la percepción del usuario desde el

punto de vista de la facilidad y comodidad que experimentan al circular por la intersección. En este contexto, se debe analizar en el punto aspectos geométricos, físicos, y geográficos relacionados con la topografía, ruido, visibilidad, etc.

E. Diagnóstico de Condicionantes Urbanas.

Se debe realizar un diagnóstico de los diferentes espacios y condicionantes urbanas que impactan a los usuarios, así como también el entorno paisajístico, arborización, mobiliario urbano y otros dispositivos presentes en cada punto conflictivo objeto de estudio.

F. Diagnóstico de Infraestructura.

En función de los antecedentes recogidos y catastrados en terreno, se debe efectuar un diagnóstico de la infraestructura que actualmente existe en el punto, con la finalidad de identificar las problemáticas que existen en el punto, tales como, problemas con el estado de la carpeta de rodado, de las aceras o problemas de saneamiento.

G. Diagnóstico de la Geometría

Se debe diagnosticar en cada intersección las características del perfil y la homogeneidad de su diseño geométrico, en cuanto al ancho de la calzada, ancho de aceras, número de pistas, radio de giro, transiciones, etc.

3.2. Solución

El planteamiento de una alternativa de solución supone la definición de un conjunto de acciones que deben ser orientadas a resolver los principales conflictos identificados, proponiendo para ello acciones factibles desde el punto de vista técnico, legal y económico (MESPIVU, 2013). Las actividades que buscan proponer soluciones a las problemáticas que existen en los puntos están presentes desde el inicio del estudio como respuesta al diagnóstico preliminar el cual permite esbozar las primeras posibles alternativas de solución. Una vez finalizada la etapa de Diagnóstico, con todas las actividades que esta metodología propone, se procede a buscar medidas que puedan ser implementadas en la faja disponible, que no generen expropiaciones ni interferencia con servicios u otros elementos como canales de regadío o similares, de baja inversión, pero teniendo presente el tratamiento de todos los actores que comparten el espacio vial, reduciendo los conflictos existentes y presente una solución operativa. Los componentes de la etapa de Solución se presentan a continuación.

- Requerimientos de Autoridades Locales.
- Análisis de Justificación de Semáforos.
- Propuesta Preliminar de Alternativas de Mejoramiento.
- Modelación del Escenario con Proyecto
- Revisión de Trayectorias del Escenario con Proyecto
- Desarrollo de los Proyectos Definitivos

3.2.1. Requerimientos de Autoridades Locales

Siempre será importante abordar el trabajo en conjunto con las Autoridades locales desde el inicio del proyecto. En base a lo expuesto, es necesario, tras las respectivas instancias de definiciones al comienzo del estudio, una reunión en la cual sea posible recoger observaciones de las Autoridades locales en relación con las causas de los conflictos existentes en los puntos y por, sobre todo, para recopilar las opiniones, requerimientos y aportes que ellos tengan y que puedan tener impacto sobre la factibilidad de implementar medidas de solución. En resumen, el número de reuniones con las Autoridades locales dependerá de la estructura de entrega que el Mandante establezca en las bases del proyecto, así como también del número de puntos, comunas involucradas, plazos, disponibilidad, etc. sin embargo, en términos generales, para un correcto desarrollo del estudio, las siguientes instancias figuran como mínimas.

- Reunión y visita a terreno en conjunto con el Director (a) del Estudio para validar los puntos objeto de análisis y realizar los ajustes metodológicos iniciales.
- Reunión de Inicio con el Director (a) del Estudio y con las Autoridades locales para presentar los alcances del proyecto, la selección definitiva de puntos y plan de trabajo.
- Reunión con el Director (a) del Estudio y con las Autoridades locales para presentar los resultados de las mediciones de tránsito y levantamiento topográfico.
- Reunión con las Autoridades locales para recopilar las opiniones en relación con las posibles causas que generan los conflictos en los puntos, y también recoger los requerimientos que tengan para las soluciones a proponer.
- Reunión con el Director (a) del Estudio y con las Autoridades locales para presentar los resultados del Diagnóstico definitivo y solución de los puntos que pueden ser divididos en dos o más grupos para distintas etapas de la entrega, sirviendo de instancia importante para la corregir, observar y retroalimentar determinados aspectos de las propuestas.
- Reunión final con el Director (a) del Estudio y con las Autoridades locales de carácter informativo para dar cuenta de los resultados del proyecto y mostrar los diseños definitivos.

3.2.2. Análisis de Justificación de Semáforos

Se debe realizar un análisis de justificación de semáforos para todas las intersecciones no semaforizadas que forman parte del estudio. Este análisis requiere de los resultados de las

mediciones continuas de flujo vehicular y peatonal de un día de medición, así como también de la información recopilada de los accidentes de tránsito ocurridos en los últimos 5 años en la zona de estudio, ambas actividades llevadas a cabo en la etapa de estudios base. En este contexto, se recomienda la realización de este análisis en función del conflicto vehículo-vehículo, vehículo-peatón y nivel de accidentabilidad, en base a los criterios señalados en el Manual de Señalización de Tránsito.

A. Justificación con flujo vehicular de 8 horas.

El Manual de Señalización de Tránsito indica que *“se justifica la instalación de un semáforo cuando el número de vehículos por hora que llegan a la intersección a través de los accesos de las vías prioritaria y secundaria en cada una de las 8 horas con mayor tránsito, de un día representativo de una semana tipo, igualen o superen los umbrales que se indican en el siguiente cuadro”* (MTT, 2012).

Tabla 7. Umbrales para justificación con flujos de 8 horas. Fuente: Manual de Señalización de Tránsito.

Número de pistas por calzada de ingreso a la intersección		Flujo vehicular mínimo (veh/h) que llega a la intersección	
Vía principal	Vía secundaria	Suma de ambos accesos en la vía principal	Acceso con mayor flujo en la vía secundaria
1	1	750	230
2 o más	1	760	190
2 o más	2 o más	850	280
1	2 o más	840	280

El Manual señala que los flujos vehiculares de la vía principal deben corresponder a las mismas 8 horas del flujo vehicular de la vía secundaria. En la vía secundaria el acceso con mayor flujo debe determinarse por separado para cada hora y, en consecuencia, el valor más alto puede ocurrir en distintos accesos durante las horas analizadas (MTT, 2012).

B. Justificación con flujo vehicular de 4 horas.

El Manual de Señalización de Tránsito indica que *“se justifica la instalación de un semáforo cuando el número de vehículos por hora que llegan a la intersección a través de los accesos de las vías prioritaria y secundaria en cada una de las 4 horas con mayor tránsito, de un día*

representativo de una semana tipo, igualem o superen los umbrales que se indican en el siguiente cuadro” (MTT, 2012).

Tabla 8. Umbrales para justificación con flujos de 4 horas. Fuente: Manual de Señalización de Tránsito.

Número de pistas por calzada de ingreso a la intersección		Flujo vehicular mínimo (veh/h) que llega a la intersección	
Vía principal	Vía secundaria	Suma de ambos accesos en la vía principal	Acceso con mayor flujo en la vía secundaria
1	1	850	260
2 o más	1	920	230
2 o más	2 o más	1.010	340
1	2 o más	1.000	330

De acuerdo con lo señalado en el Manual de Señalización de Tránsito, al verificar las condiciones de los cuadros anteriores los flujos vehiculares de las vías principal y secundaria deben corresponder a las mismas 8 o 4 horas respectivamente. En la vía secundaria el acceso con mayor flujo debe determinarse por separado para cada hora y, en consecuencia, el valor más alto puede ocurrir en distintos accesos durante las horas analizadas.

C. Justificación en función de flujos peatonales.

El Manual de Señalización de Tránsito indica que “se justifica la instalación de un semáforo en una intersección o en un cruce peatonal en un tramo de vía cuando el indicador PV^2 , que mezcla el nivel de actividad peatonal (P) con el flujo vehicular (V) que enfrentan los peatones por unidad de tiempo, cumpla las condiciones establecidas en el siguiente cuadro, como promedio en las 4 horas de mayor actividad de un día representativo de la semana tipo” (MTT, 2012).

Tabla 9. Umbrales para el Indicador PV^2 . Fuente: Manual de Señalización de Tránsito.

PV^2	P (peat/h)	V (veh/h)	Recomendación preliminar
Sobre 10^8 y si no es posible la provisión de una zona de protección peatonal en la calzada	50 a 1.100	300 a 500	Paso Cebra
	50 a 1.100	sobre 500	Semáforo peatonal
	sobre 1.100	sobre 300	Semáforo peatonal

Sobre 2×10^8 y existe o es necesaria la provisión de una zona de protección peatonal en la calzada	50 a 1.100	400 a 750	Paso Cebra con isla o refugio peatonal
	50 a 1.100	sobre 750	Doble semáforo peatonal con refugio peatonal (semáforo desfasado)
	sobre 1.100	sobre 400	Doble semáforo peatonal con refugio peatonal (semáforo desfasado)

D. Justificación en función del nivel de accidentabilidad

El manual señala que “*se justifica la instalación de un semáforo, cuando en la intersección o cruce peatonal analizado se haya producido al menos una de las siguientes condiciones*”:

- a) *2 o más personas fallecidas en los últimos 5 años.*
- b) *5 o más accidentes con lesionados, cualquiera sea su gravedad, como promedio anual durante los últimos 5 años.*

E. Justificación con umbrales reducidos.

En casos excepcionales la UOCT puede autorizar la justificación de un semáforo si en la intersección analizada los flujos vehiculares observados son mayores o iguales a un 75% de los valores señalados en la justificación con flujos de 8 horas, en cuyo caso el semáforo que se instale debe operar con un esquema de actuación de fases de manera que se logren demoras aceptables y condiciones seguras de cruce para todos los usuarios (MTT, 2012).

3.2.3. Propuesta Preliminar de las Alternativas de Mejoramiento

Como se mencionó anteriormente, el estudio de posibles soluciones comenzó desde el inicio del proyecto, en la etapa de levantamiento de información en terreno. En este nivel se pretende proponer medidas que complementen esas propuestas iniciales, pero de una manera más completa, respondiendo al diagnóstico definitivo, a los requerimientos de las autoridades locales y a la justificación de semáforos. El objetivo es proponer alternativas de mejoramiento que serán desarrolladas a nivel de proyecto en la siguiente fase. A su vez, las soluciones propuestas en esta actividad serán llevadas en etapas posteriores a un escenario futuro mediante un modelo de simulación microscópica que reproduzca el comportamiento operacional de la situación con proyecto, y a un simulador de trayectorias para chequear la geometría propuesta. Lineamientos generales para esta actividad, opciones de solución, categorización de medidas de mejoramiento y relación causa-efecto a nivel esquemático, se encuentran en el Anexo A.1.

3.2.4. Desarrollo de los proyectos definitivos

Para cada uno de los puntos contemplados en el estudio, se debe entregar una solución a la problemática detectada, la cual se suministra a nivel de ingeniería de detalle, considerando un diseño definitivo cuya especificación es tal, que puedan ser directamente implementados en terreno (MESPIVU, 2013). En definitiva, los proyectos a desarrollar se sitúan en un marco de bajo costo y de factibilidad de ejecución inmediata. La propuesta definitiva contempla básicamente diseños en planta, que incluye el trazado geométrico y los respectivos proyectos de señalización y demarcación que, como se mencionó anteriormente, son principalmente iniciativas de bajo costo y que se pueden implementar en el corto plazo. Si algunos puntos requieren de pavimentaciones puntuales, ensanches, pistas de viraje, etc., se deben generar proyectos de demolición y pavimentación de acuerdo con los estándares MOP o SERVIU regional según corresponda. Si algunos puntos requieren la instalación de un semáforo, o en su defecto, una modificación en la programación existente, se debe generar un proyecto de semaforización y se debe gestionar la aprobación de este, en la UOCT regional. En resumen, en esta etapa se debe desarrollar una cartera de proyectos que den cuenta de la disponibilidad del espacio existente, entregando soluciones integrales que resuelvan gran parte de los conflictos principalmente operacionales, de infraestructura y de seguridad. Conforme al MESPIVU y a las habituales bases técnicas, los proyectos considerados se deben entregar en planos a escala 1:500, generando un set de planos, especificaciones técnicas, cubicaciones y presupuestos pudiendo incorporar total o parcialmente las siguientes tareas.

- Proyecto de Diseño Geométrico.
- Proyecto de Seguridad Vial.
- Proyecto de Semaforización.
- Proyecto de Demolición y Pavimentación.
- Cubicaciones de Obras y Montos de Inversión.
- Especificaciones Técnicas Generales para la ejecución de obras.

A. Proyecto de Seguridad Vial

La principal componente de iniciativa para entregar soluciones a los problemas operativos de un punto en el desarrollo de proyectos de gestión es el Proyecto de Seguridad Vial. Estos proyectos se deben desarrollar conforme a las normas y recomendaciones del Manual de Señalización de Tránsito. En términos generales, este proyecto debe contener lo siguiente.

- Señalización vertical. Se debe considerar complementar o mejorar la señalización en el punto.
- Señalización horizontal. Se debe considerar líneas longitudinales, transversales, símbolos, leyendas y otras demarcaciones como cruces peatonales, flechas, etc.
- Demarcación de áreas. Se debe considerar resaltar zonas desde la perspectiva de la seguridad, resaltar una determinada operatividad específica como pistas para buses o

ciclovías. Esta demarcación puede incorporar fines de adherencia para mejorar el frenado en ciertas zonas.

Como producto de esta actividad, se debe entregar planos de Señalización y Demarcación a escala que indique las bases técnicas.

B. Proyecto de Pavimentación

En algunos puntos podría ser necesario la intervención, generación o modificación del pavimento de la calzada, de las veredas, ciclovías, etc. Para resolver lo anterior, se debe generar un proyecto de pavimentación que permita materializar este tipo de soluciones. Los proyectos de pavimentación se realizarán conforme a las especificaciones del SERVIU regional o del Manual de Carreteras del MOP de acuerdo con la tuición de las vías que componen la intersección. En el diseño estructural de los pavimentos, para determinar el espesor de las capas que lo componen, se recomienda recurrir a los métodos de la AASHTO 1993 o AASHTO 1994. Se debe incorporar una memoria explicativa, los criterios y resultados del diseño de pavimentos en hormigón o asfalto según corresponda, la cubicación de obras y estimación de costos para el proyecto.

C. Proyecto de Demolición

Cuando se requiera pavimentar una zona puntual, se debe elaborar un Proyecto de Pavimentación que, cuando se trata de intervenir el pavimento o modificarlo, debe venir acompañado de un Proyecto de Demolición. Este proyecto se sitúa dentro del marco de materializar soluciones aplicadas al pavimento de calzada, aceras, ciclovías.

D. Proyecto de Diseño Geométrico

Esta tarea consiste en la composición, el dimensionamiento y la especificación de la materialidad de los elementos y dispositivos que conforman la plataforma vial urbana. En este marco, los diseños se desarrollan conforme con las especificaciones que señala tanto el MESPIVU, como el REDEVU. En el Proyecto de Diseño Geométrico se debe plantear soluciones en base a los siguientes aspectos.

- Definición de la sección transversal considerando opciones para aceras, calzadas, características de la mediana, exclusividad de vías, existencia de ciclovías, etc.
- Análisis de pavimentos existentes cuando para evaluar si se mantienen o se reponen.

Se deben calcular todos los parámetros para la definición matemática del trazado, es decir, vértices, puntos singulares, radios y parámetros de clotoide, desarrollo de curvas, tangentes, ángulos de deflexión, etc. La definición geométrica se presentará en planos de planta, perfiles

longitudinales y transversales tipo en las zonas donde se modifique la rasante o se reconstruya el pavimento. En resumen:

- Planta de Diseño Geométrico a escala 1:500.
- Perfiles Longitudinales y Transversales a escala H: 1:500 / V: 1:50

E. Proyecto de Semaforización

En caso de que una propuesta de mejoramiento requiere la instalación de un semáforo, se debe generar el proyecto respectivo y gestionar su aprobación con la UOCT. Los Proyectos de Semaforización deben contener la siguiente documentación.

- Memoria técnica para la instalación de semáforos.

Se debe detallar específicamente los detalles operacionales tales como fases y dimensionamiento del equipo controlador, especificaciones técnicas, etc.

- Plano a escala 1:200

Levantamiento planimétrico del punto que debe contener lo siguiente.

- Proyección de Lámparas, Postes, Cabezales, Canalización, Equipo controlador, cámaras, etc.
- Definición de fases.
- Etapas vehiculares, etapas peatonales, etapas flecha de viraje, etc.
- Diagrama de Cableado.
- Detalle de lámparas, postes, empalme eléctrico, etc.
- Diagrama Unilineal.
- Detalle de obras de rebajes peatonales.

- Cuantificación de Obras por ejecutar para la instalación.

Cubicaciones por partidas que deben considerarse para la construcción del semáforo, considerando suministros, materiales, instalación y equipos de semáforo.

F. Cubicación de Obras y Montos de Inversión

Definidos los proyectos definitivos de mejoramiento de cada punto con los planos respectivos, se debe efectuar las cubicaciones preparando en base a ellas, los montos de inversión asociados (presupuestos). Los montos de inversión consideran fundamentalmente costos asociados a la construcción de obras viales urbanas consideradas en los proyectos, en los cuales se incluyen los costos de los sistemas de operación y control de tránsito (MESPIVU, 2013). Esta actividad consiste en la realización de una cubicación completa de todos los elementos involucrados en los proyectos para cada punto del estudio cuantificando los montos de inversión privada y social, incluyendo todos los detalles necesarios para identificar los elementos a cubicar, incluyendo cortes, planos de menor escala, entre otros.

G. Especificaciones Técnicas para la Ejecución de la Obra

Se debe elaborar un documento que contenga las especificaciones técnicas generales de las obras a ejecutar, es decir, debe contener todas las indicaciones necesarias para definir el proyecto. Se debe tener especial cuidado con las especificaciones de elementos que sea innovadores o pilotos de demarcación, señalización, infraestructura, u otro que se pretendan incorporar para generar nuevas medidas de bajo costo.

3.2.5. Modelación del Escenario con Proyecto

La modelación y simulación de las alternativas de solución tiene por objetivo predecir las condiciones de circulación en el área de influencia del proyecto, evaluando los beneficios de cada alternativa y deben ser modeladas en cada período considerado (MESPIVU, 2013). Desarrollar esta actividad es muy importante dado que, en intersecciones complejas no siempre es evidente que los problemas detectados serán resueltos efectivamente con las soluciones propuestas. Además, permite comparar el escenario actual con el escenario con proyecto clarificando los aportes e impactos en la red vial que genera la implementación de medidas de solución desarrolladas en los proyectos. La simulación es una excelente herramienta para complementar el diseño, permitiendo realizar ajustes y mejoras a las soluciones que muchas veces no son visibles sin la modelación. Tal como se mencionó en la etapa de Modelación del Escenario Actual, se recomienda el uso de microsimuladores para atender la complejidad operacional de los puntos objeto de estudio, y por, sobre todo, porque se basa en modelos de comportamiento entregando resultados con un alto nivel de detalle. Esta modelación permite hacer la comparación con la situación actual realizada en etapas anteriores, permite evaluar distintas alternativas de mejoramiento y realizar ajustes a las soluciones planteadas.

A. Construcción del Modelo

Al igual que en la Modelación del Escenario Actual, la construcción del modelo de este escenario tiene por objetivo representar las condiciones físicas y operativas del punto bajo análisis, con la salvedad que se busca incorporar y evaluar medidas que pretenden proporcionar mejoras a la operación de la intersección. La construcción de este modelo se puede llevar a cabo de dos maneras, la primera, sobrescribiendo y modificando sobre la base de la modelación de la situación actual, induciendo los cambios proyectados o bien, construyendo el modelo desde el inicio, para lo cual, requiere ingresar la información de entrada tanto Estática (características físicas y técnicas de la red), como Dinámica (Demanda de tráfico, características operacionales vehículo-conductor, transporte público).

B. Datos de Entrada

Independiente de la elección del modelador en relación con la construcción del modelo, los datos de entrada se definen de la misma manera señalada en el capítulo Modelación del Escenario Actual del presente documento (Características geométricas del punto o red, flujos vehiculares, control de tráfico, períodos de modelación, tipología de vehículos, transporte público, etc.).

C. Datos de Salida

Los datos de salida fueron enumerados y descritos en el capítulo Modelación del Escenario Actual de la presente memoria.

D. Verificación del Modelo

Es necesario chequear que los vehículos se mueven correctamente por la red mediante una corrida visual, verificando que la geometría física y las velocidades se reproduzcan correctamente. Cuando la geometría no es correcta, los vehículos realizan giros indebidos, movimientos irregulares, detenciones o reducciones importantes de velocidad, entre otros.

E. Análisis de Resultados

Con el modelo ya construido y verificado, se procede a efectuar las corridas de simulación animada que permiten analizar los resultados y corroborar que las soluciones propuestas resuelven las problemáticas operacionales del punto, realizar ajustes o en su defecto, evaluar distintas alternativas de mejoramiento.

3.2.6. Revisión de Trayectorias del Escenario con Proyecto

Cuando la propuesta de solución proponga cambiar ciertos aspectos geométricos del punto objeto de estudio, tales como ajustes en los radios de giro, generación de ramales de viraje o cambios en las trayectorias que deben seguir los automóviles, los cuales podrían atribuirse a cambios en la demarcación, o un nuevo proyecto de semaforización, se deben revisar las nuevas trayectorias que realizarán los vehículos, permitiendo la evaluación de la geometría y de la seguridad en ellas. En este contexto, se sugiere utilizar programas de simulación de trayectorias para chequear y realizar ajustes al proyecto cuando se detecten problemas.

4. APLICACIÓN A CASO DE ESTUDIO

4.1. Introducción

Se tomará como caso de estudio para aplicar la metodología desarrollada, dos puntos conflictivos situados en las comunas de Puerto Varas y Calbuco, que son parte del proyecto “Análisis de Puntos Congestionados en Comunas de la Región de Los Lagos” que se encuentra actualmente en desarrollo, cuyo mandante corresponde a la Intendencia de la Región de Los Lagos, gestionado por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y se le ha adjudicado la ejecución mediante proceso de licitación a la firma consultora CGM Ingeniería Ltda. Se ha participado de manera activa en lo que va del actual desarrollo del proyecto, siendo partícipe desde el inicio, de cada una de las etapas y actividades que el estudio conlleva, razón por la cual, la aplicación de esta metodología al mencionado estudio ha sido directa, presencial y aprobada por la contraparte técnica en lo que se lleva de proyecto. Este estudio contempla el análisis de 33 puntos conflictivos, dentro de los cuales 22 están situados en la comuna de Puerto Varas y 11 en Calbuco. Sin embargo, para efectos del presente trabajo de título, se tomarán dos para el estudio de caso presentando a continuación los hitos, desarrollos y resultados más relevantes. El objetivo principal del estudio es generar una cartera de proyectos de gestión de tránsito de bajo costo con una visión integral asociados a mejorar la accesibilidad y movilidad de vehículos y peatones de las ciudades que son materia de análisis en la Región de Los Lagos. En definitiva, los objetivos que se desprenden del principal son (IRL, 2018).

- a) Diagnóstico del funcionamiento actual del punto. Aquí se desarrollan los estudios base y la recopilación de antecedentes que sean requeridos para avalar un diagnóstico apropiado de las características físicas y operacionales de las intersecciones evaluadas sirviendo de sustento para las propuestas posteriores de solución.
- b) Desarrollo, análisis y propuestas de mejoramiento vial. En esta etapa corresponde el desarrollo de las distintas alternativas de solución a nivel de esquema preliminar, considerando un set de mejoramientos de bajo costo aplicadas de manera individual o conjunta, en las cuales se incluye todas las obras que parezcan razonables a considerar.
- c) Desarrollo de los proyectos. Finalmente, se desarrollan de forma independiente cada uno de los proyectos que componen la cartera, tomando las alternativas determinadas en la etapa anterior, contemplando justificación, mediciones, planos, cubicación y presupuesto.

Los puntos que conformarán la aplicación de la Metodología a estudio de caso son los siguientes.

Tabla 10. Listado de Puntos a estudiar. Fuente: Elaboración propia.

Nº	Calle 1	Calle 2	Comuna
1	Del Salvador	San Bernardo	Puerto Varas
2	Los Héroe	21 de Mayo	Calbuco

La ubicación geográfica del Punto 1 se presenta en la siguiente figura.

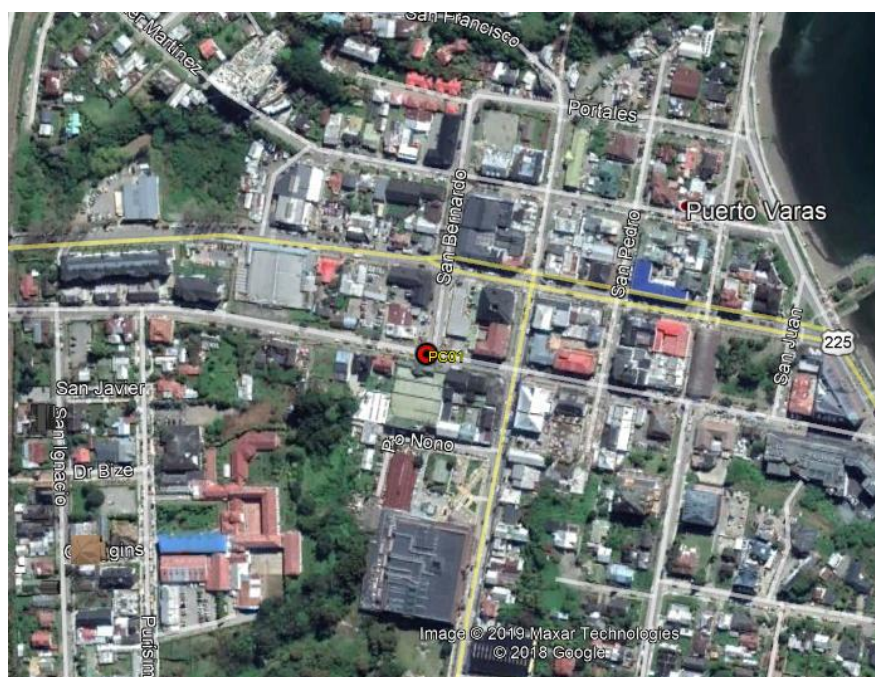


Figura 3. Vista en planta de la ubicación del Punto 01, Puerto Varas. Fuente: Google Earth, 2019.

El Punto 1 se ubica en la comuna de Puerto Varas, Región de Los Lagos y corresponde a una intersección en “T” de las calles Del Salvador con San Bernardo. La ubicación geográfica del Punto 2 se presenta en la siguiente figura.

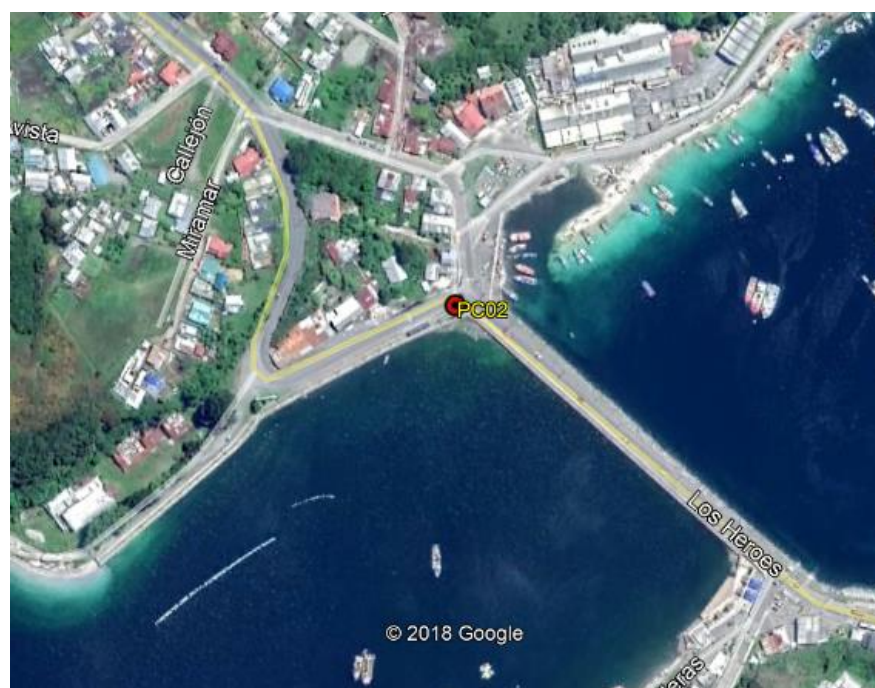


Figura 4. Vista en planta de la ubicación del Punto 02, Calbuco. Fuente: Google Earth, 2019.

El punto 2 está situado en la comuna de Calbuco, Región de Los Lagos y corresponde a una intersección en “T” de los ramales que conforman el punto. En la actividad de levantamiento de información en terreno de la etapa de Diagnóstico se describen estos puntos con mayor detalle en el marco de geometría, operación, regulación, entre otros.

4.2. Diagnóstico

Esta etapa está compuesta por una serie de actividades detalladas en la Metodología cuyo objetivo es identificar problemáticas que existen en los dos puntos seleccionados determinando las causas que los originan.

4.2.1. Estudios Base

A. Recopilación de Antecedentes y Revisión Metodológica

- Revisión de Antecedentes

En la sección Anexo B se entrega un reporte de las acciones ejecutadas para acceder a la información requerida y un resumen de los resultados de esta actividad.

- Levantamiento de Información en terreno

Se realizó una revisión en terreno de los dos puntos, lo cuales fueron validados para ser parte del proyecto tanto por el Consultor como por el Director del Estudio. Se generó una caracterización de cada punto, y un diagnóstico preliminar con posibles propuestas de solución a las problemáticas detectadas a un nivel conceptual. La siguiente figura es una vista en planta que permite observar más de cerca la forma cualitativa del Punto 1, Puerto Varas.

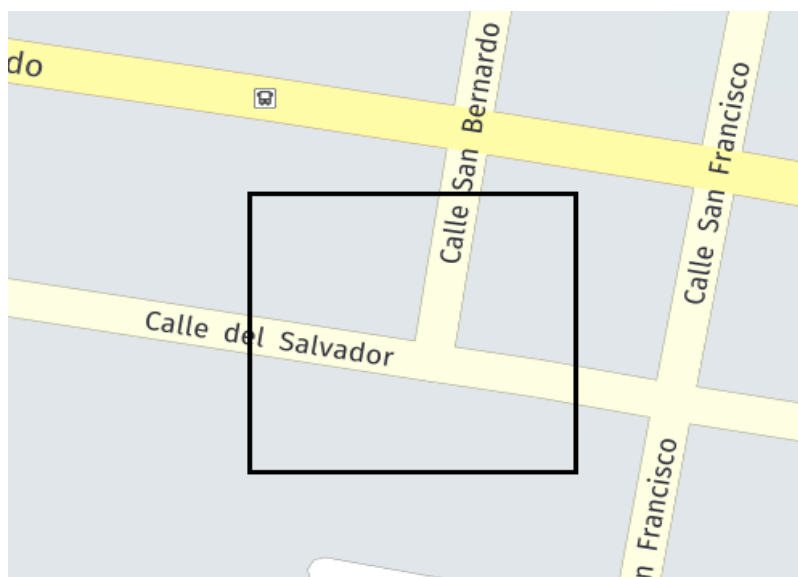


Figura 5. Vista en planta acercada Punto 01, Puerto Varas. Fuente: We Go Here, 2019.

El siguiente cuadro, presenta la caracterización general del Punto 1 – Del Salvador con San Bernardo, Puerto Varas.

Tabla 11. Caracterización general del Punto 1. Fuente: Elaboración propia.

Aspectos	Descripción
Regulación	Prioridad
Control de Tránsito	Señal Vertical “Ceda el Paso”.
Calle Principal	Del Salvador
Calle Secundaria	San Bernardo
Direccionalidad Calle Principal	Desde la intersección hacia el suroriente unidireccional. Desde la intersección hacia el norponiente, bidireccional.
Direccionalidad Calle Secundaria	Unidireccional de norte a sur.
Nº de Pistas Calle Principal	Rama suroriente, tres. Rama norponiente, dos.
Nº de Pistas Calle Secundaria	Tres.
Entorno del Punto	Zona céntrica urbana.
Nº de cruces peatonales formales	Dos.
Paraderos de Transporte Público	Uno.
Ubicación Paraderos	Calle San Bernardo.
Bahías en las calzadas	No.



Figura 6. Vista desde el poniente. Punto 01, Puerto Varas. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente cuadro presenta el prediagnóstico realizado en terreno.

Tabla 12. Diagnóstico preliminar del Punto realizado a partir de visita de campo. Fuente: Elaboración Propia.

Conflicto vehicular/Diseño Vial	Conflicto Peatonal	Recomendación Punto
Al ser zona céntrica, transita mucho peatón y genera congestión vehicular en calle Del Salvador. Por otro lado, la demarcación del punto se encuentra deteriorada.	Cruces peatonales con demarcación en mal estado.	Incorporar semáforos para controlar el tránsito peatonal y vehicular en el punto. Reforzar la demarcación.

La siguiente figura es una vista en planta que permite observar más de cerca la forma cualitativa del Punto 2, Calbuco.



Figura 7. Vista en planta acercada Punto 02, Calbuco. Fuente: We Go Here, 2019.

Cabe destacar que, en Calbuco no existe claridad total con el nombre de las calles. La información de Google Map difiere con la de We Go Here, y ambas discrepan de lo que indica la Dirección de Tránsito de dicha comuna. Finalmente, las bases técnicas del proyecto indica que el nombre de las calles corresponde a las indicadas anteriormente (21 de Mayo – Los Héroes). Para efectos de este trabajo, se debe abocar a lo señalado por las bases. Línea dibujada en la vista en planta mostrada anteriormente (color naranja), representa la vía principal de la intersección. El siguiente cuadro, presenta la caracterización general del Punto 2 – Los Héroes con 21 de Mayo, Calbuco.

Tabla 13. Caracterización general del Punto 2. Fuente: Elaboración propia.

Aspectos	Descripción
Regulación	Prioridad
Control de Tránsito	Señal Vertical “Ceda el Paso”.
Calle Principal	21 de Mayo con tramo suroriente de calle Los Héroes
Calle Secundaria	Tramo norte de calle Los Héroes.
Direccionalidad Calle Principal	Bidireccional.
Direccionalidad Calle Secundaria	Bidireccional.
Nº de Pistas Calle Principal	Dos.
Nº de Pistas Calle Secundaria	Dos.
Entorno del Punto	Zona de Entrada a la ciudad.

N° de cruces peatonales formales	Tres.
Paraderos de Transporte Público	Dos.
Ubicación Paraderos	Calle 21 de Mayo.



Figura 8. Vista desde el norte. Punto 02, Calbuco. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente cuadro presenta el prediagnóstico realizado en terreno.

Tabla 14. Diagnóstico preliminar del Punto realizado a partir de visita de campo. Fuente: Elaboración propia.

Conflicto vehicular/Diseño Vial	Conflicto Peatonal	Recomendación Punto
Todos los virajes permitidos en todas las vías que componen el punto, situación que genera gran inseguridad en los usuarios sobre todo por la geometría compleja de la intersección. Por otro lado, la demarcación del punto se encuentra en mal estado. Se observa deterioros en el pavimento.	Paso de cebrá ubicado en calle 21 de Mayo uno los bordes de la calzada en el centro de las bahías destinadas a los paraderos del transporte público, situación que genera incomodidad en los usuarios. Cruces peatonales con demarcación en mal estado. No existe dispositivos de	Prohibir ciertos virajes cambiando al mismo tiempo la direccionalidad de las calles. La 21 de Mayo serviría únicamente de entrada a la ciudad (unidireccionalidad de poniente a oriente), y el tramo norte de Los Héroes sólo de salida (unidireccionalidad de sur a norte). Solución que brindaría mayor seguridad a los usuarios y eliminaría los conflictos vehiculares que se

	rodado en los cruces peatonales.	generan por la misma causa. Por otro lado, se debe mejorar la condición del pavimento y de la demarcación completa. Cruces peatonales deben ser desplazados para despejar la zona de parada. Se debe incorporar dispositivos de rodado.
--	----------------------------------	---

- Selección definitiva de puntos y ajuste metodológico

Los puntos seleccionados para efectos del presente trabajo forman parte de los puntos que fueron validados por la contraparte técnica del proyecto, por lo cual no sufrieron modificaciones. En relación con la revisión de la metodología del proyecto, se debe tener medición de flujos continuos y longitud de cola para ambos puntos, y mediciones de velocidad (tiempos de viaje) para el punto de Puerto Varas. El levantamiento topográfico debe realizarse dentro de un área que contemple como mínimo 40 metros desde la intersección hacia los ramales.

B. Estudios de suelos

- Levantamiento Topográfico

Los procedimientos y resultados se presentan en el Anexo B de la presente Memoria.

- Mecánica de Suelos

No se obtuvo antecedentes de estudios de suelos realizados en el área de los puntos. Los diseños de pavimentos en zonas puntuales requeridos en los proyectos de pavimentación se realizaron asumiendo una calidad de suelo desfavorable para estimar el espesor de las capas de la estructura del pavimento.

C. Mediciones de Tránsito

- Mediciones continuas de flujo vehicular

Los conteos continuos, peatonales y vehiculares, se realizaron a través de filmaciones con cámaras. Luego, cada video fue enviado a oficina para el procesamiento de datos en gabinete, donde una dotación de medidores se encarga de reproducir videos, y digitar los registros en una base de datos.



Figura 9. Captura de pantalla de las filmaciones realizadas en el Punto 1 y 2. Fuente: Equipo de Mediciones CGM.

Los dispositivos de filmación se instalan en postación disponible, y se dejan durante todo el día de medición, por lo que se puede medir en forma continua todo el rango horario requerido. En cada intersección y para cada movimiento se realizaron mediciones en un día laboral normal durante 14 horas continuas entre 7:00 y 21:00. Las mediciones consideran la tipología de vehículos señalada en el capítulo Desarrollo de la Metodología. El total de vehículos equivalentes por hora (flujo) contabilizados en el Punto 1 fue de 12.600 y en el Punto 2 fue de 14.443. Lo opuesto sucedió con el flujo peatonal, donde el valor registrado en el Punto 1 es de 7.456 y en el Punto 2 es de 482 registrando gran diferencia. En cuanto a los volúmenes vehiculares ambas intersecciones presentan flujos bajos, pero en volúmenes peatonales el Punto 1 evidencia gran cantidad de transeúntes. Lo anterior, se debe a que el Punto 1 está situado en pleno centro de la ciudad, mientras que el Punto 2 se encuentra a la entrada de la localidad de Calbuco. En la sección Anexo B se encuentra el detalle de las mediciones continuas de flujo.

- Periodización

En el Proyecto que aplica como caso estudio, se utilizó, para calcular las horas más cargadas del día de acuerdo con lo establecido en la Metodología presentada, la información de flujo vehicular medida en otras tres intersecciones distintas a las desarrolladas en este trabajo. La información de los flujos medidos en los puntos con los cuales se calculó la periodización se encuentra en la sección Anexo B. A continuación, el resultado de Periodización para ambas comunas.

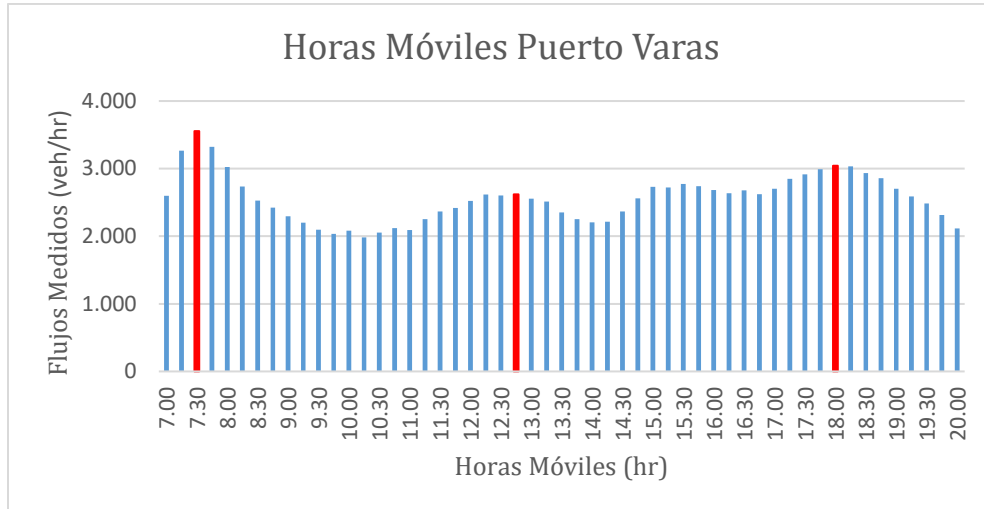


Figura 10. Horas Móviles Puerto Varas. Fuente: Elaboración conjunta con Equipo de Tránsito CGM.

Del análisis de los datos se desprende que, para el caso de Puerto Varas, los horarios punta son los que se indican en el siguiente cuadro.

Tabla 15. Horas Punta Puerto Varas. Fuente: Elaboración conjunta con Equipo de Tránsito CGM.

Periodo	Hora Punta
Punta Mañana (PM)	7:30 a 8:30
Punta Medio día (PMD)	12:45 a 13:45
Punta Tarde (PT)	18:00 a 19:00

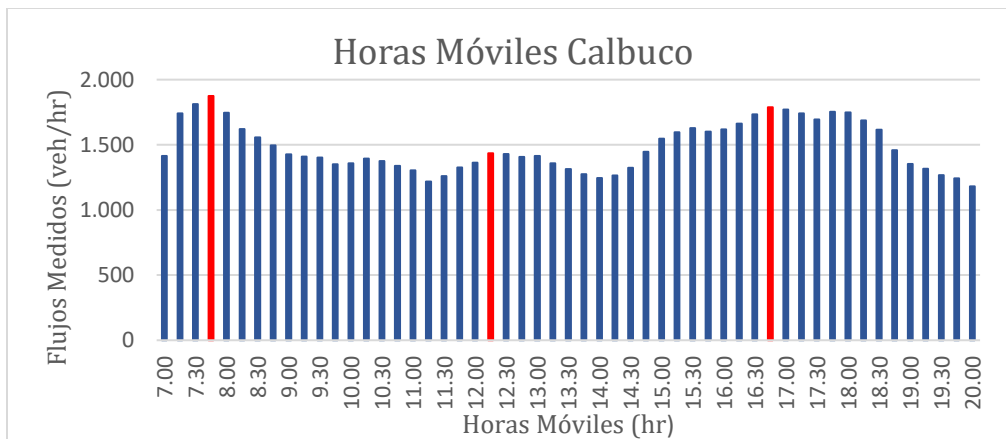


Figura 11. Horas Móviles Calbuco. Fuente: Elaboración conjunta con Equipo de Tránsito CGM.

Del análisis de los datos se desprende que, para el caso de Calbuco, los horarios punta son los que se indican en el siguiente cuadro.

Tabla 16. Horas Punta Calbuco. Fuente: Elaboración conjunta con Equipo de Tránsito CGM.

Periodo	Hora Punta
Punta Mañana (PM)	7:45 a 8:45
Punta Medio día (PMD)	12:15 a 13:15
Punta Tarde (PT)	16:45 a 17:45

- Mediciones de Longitud de Cola

En el marco del presente estudio, se midió la longitud de cola de la pista a la cual se le regula la operación de prioridad, conforme al procedimiento establecido en la Metodología presentada. En el caso de Puerto Varas, corresponde a la pista central de la vía San Bernardo, esto, porque las otras dos pistas que componen la calzada poseen un movimiento exclusivo en el cual no requieren de ceder prioridad de paso. En el siguiente cuadro resumen puede verse los resultados.

Tabla 17. Resultados Longitud de Cola de los Puntos. Fuente: Elaboración propia.

Cola\Punto	P1 PM	P1 PMD	P1 PT	P2 PM	P2 PMD	P2 PT
Cola Media	1,6	1,3	1,8	0,3	0,3	0,5
Cola Máxima	5	4	6	3	2	4

El análisis de estos resultados se realiza posteriormente en el diagnóstico de movilidad y fluidez. Estos resultados permiten a su vez, realizar una comparación cualitativa con el resultado de la microsimulación del escenario actual, siendo uno de los parámetros que permiten validar el modelo. El detalle de los resultados se encuentra en el Anexo B.

- Mediciones de tiempos de viaje

Dentro de los tramos acordados con el Director del Estudio para medir velocidad (tiempos de viaje), sólo el Punto 01 (Puerto Varas) está contemplado en uno de ellos para esta medición. El método seleccionado dentro de los que describe el MESPIVU (p.111) es el del vehículo flotante utilizando GPS. Esta medición se realizó únicamente con vehículo liviano. El fragmento del tramo que comprende el Punto 01 se detalla a continuación.



Figura 12. Vista en planta del tramo de medición de velocidad. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen, el cuadro enmarca el punto estudiado. Se realizaron 5 pasadas en cada hora punta definida y en cada sentido de tránsito. Para mayores detalles, ver Anexo B. A continuación, se presenta los valores promedios de velocidad (km/hr) para cada tramo y para cada hora punta.

Tabla 18 . Resultados de la Medición de velocidad. Fuente: Elaboración propia.

Hora Punta	Tramo 1-2	Tramo 2-3	Tramo 4-2	Tramo 2-1
PM	33,4	20,3	18,06	33,7
PMD	21,9	10,4	14,9	32,6
PT	23,7	12,0	17,5	28,3

El análisis de los resultados se realiza posteriormente en el diagnóstico de movilidad y fluidez. Estos resultados permiten a su vez, realizar una comparación con la microsimulación del escenario actual, siendo uno de los parámetros que permiten validar el modelo.

E. Catastros

- Catastro de Pavimentos

En el capítulo Desarrollo de la Metodología se describe el procedimiento sugerido para realizar el Catastro de Pavimentos mediante la estimación del índice de serviciabilidad “p”. Siguiendo dicho procedimiento, y dibujando en el software comercial AutoCAD, se obtuvo los siguientes resultados de catastro para los puntos evaluados.

SIMBOLOGÍA A CATASTRO PAVIMENTOS Y ACERAS					
ACERA HORMIGÓN		PAVIMENTO HORMIGÓN		PAVIMENTO ASFALTO	
	Buen Estado		Buen Estado ($3,0 < P$)		Buen Estado ($3,0 < P$)
	Regular Estado		Regular Estado ($2,0 < P < 3,0$)		Regular Estado ($2,0 < P < 3,0$)
	Mal Estado		Mal Estado ($P < 2,0$)		Mal Estado ($P < 2,0$)
BALDOSA		CALZADA NO PAVIMENTADA			
	Buen Estado				

Figura 13. Simbología Catastro de Pavimentos. Fuente: Elaboración conjunta con el Equipo de Catastros CGM.

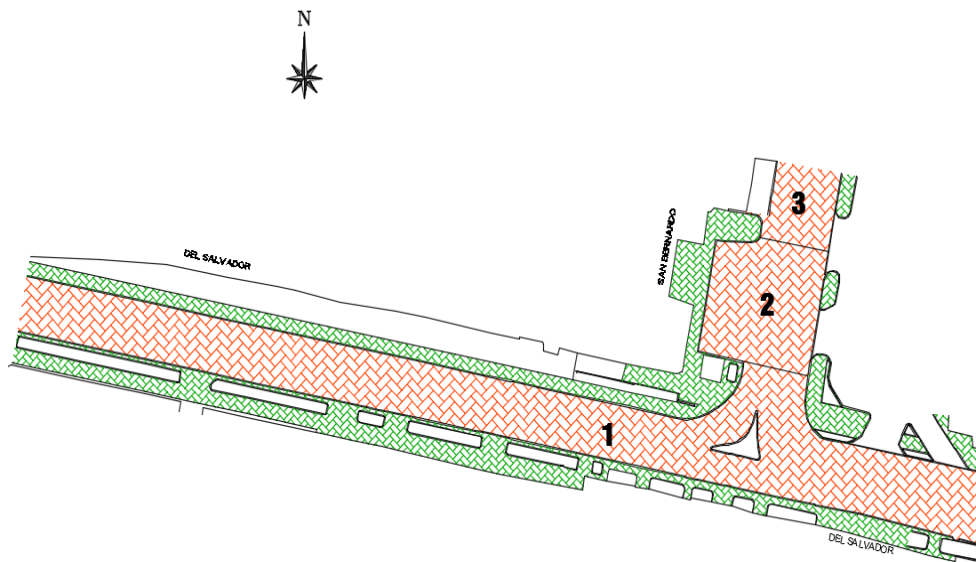


Figura 14. Catastro de Pavimentos Punto 1. Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta al índice P de las áreas identificadas en la figura anterior, éstos pueden ser visualizados en el siguiente cuadro.

Tabla 19. Índice de Serviciabilidad según tramos homogéneos. Fuente: Elaboración propia.

Código	Calle	Carpeta	Parámetros de la Carpeta			Índice "P"	Estado
			C1	C2	C3		
PC01-1	Del Salvador	Hormigón	2	1	1	3,7	BUENO
PC01-2	San Bernardo	Hormigón	2	2	1	3,2	BUENO
PC01-3	San Bernardo	Hormigón	2	1	1	3,7	BUENO

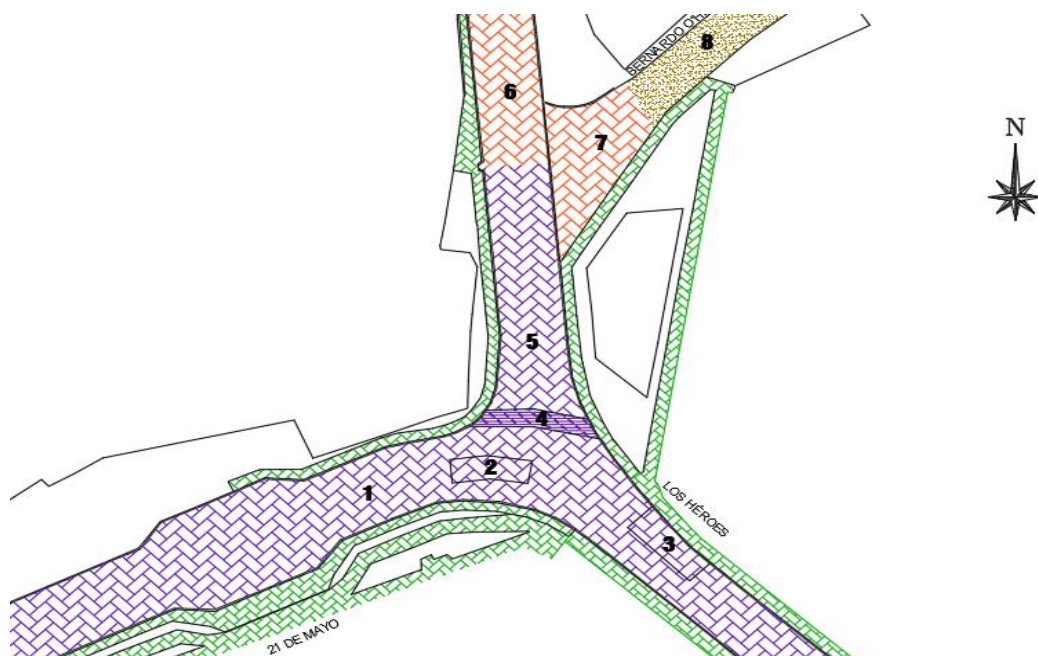


Figura 15. Catastro de Pavimentos del Punto 02. Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta al índice P de las áreas identificadas en la figura anterior, éstos pueden ser visualizados en el siguiente cuadro.

Tabla 20. Índice de Serviciabilidad según tramos homogéneos. Fuente: Elaboración propia.

Código	Calle	Carpeta	Parámetros de la Carpeta			Índice "P"	Estado
			C1	C2	C3		
PC23-1	21 de Mayo	Asfalto	2	1	1	3,4	BUENO
PC23-2	21 de Mayo	Asfalto	2	2	1	3,3	BUENO
PC23-3	Los Héroes	Asfalto	2	2	1	3,3	BUENO
PC23-4	21 de Mayo	Asfalto	2	2	2	3,0	REGULAR
PC23-5	Almirante Latorre	Asfalto	2	1	1	3,4	BUENO
PC23-6	Almirante Latorre	Hormigón	2	1	1	3,7	BUENO
PC23-7	Bernardo O'Higgins	Hormigón	2	1	1	3,7	BUENO
PC23-8	Bernardo O'Higgins	Tierra					

- Catastro de Infraestructura Vial y Elementos del Entorno

Se presenta una ficha para cada punto en la cual se detalla los resultados del Catastro.

Tabla 21. Catastro de Infraestructura y Elementos del Entorno Punto 1. Fuente: Elaboración propia.

Elemento del Entorno	Estado/Caracterización
Calzada	Pavimento compuesto por losas de hormigón, cuyo estado de conservación se detalla en la sección anterior “Catastro de Pavimentos”. La calzada de los ramales norte y suroriente miden 10 m (3 pistas cada una), mientras que la rama norponiente mide 8 m (2 pistas).
Veredas	Material hormigón. Ocupan el ancho completo de la acera. Ancho varía desde los 1,2 metros en el sector. Estado de conservación se detalla en la sección anterior “Catastro de Pavimentos”.
Soleras	Buen estado de conservación.
Aceras	Contienen veredas de hormigón en toda el área de estudio. El ancho de la acera varía entre 2-5 metros en el sector. Existe discontinuidad en las aceras nororiente del punto debido a presencia de Estación de Servicios.
Berma	Las calzadas poseen acera como espacio destinado a peatones.
Valla peatonal	Existente en algunos sectores.
Ciclovía o Ciclobanda	No existe Ciclovía ni Ciclobanda en la zona del punto.
Bahías	No existen bahías en el Paradero ubicado en el punto.
Dispositivos de rodado.	Existe rebaje de solera en todos los cruces peatonales sin las medidas que exige la norma y sin franja táctil para personas con visibilidad limitada.
Obras en Ejecución	No se observó obras en ejecución en el entorno cercano al punto.
Edificaciones Relevantes	Zona céntrica de la ciudad, por lo cual existe varias edificaciones en el entorno del punto. En la intersección misma existe Supermercado, Estación de Servicios, Centro comercial, etc.

Tabla 22. Catastro de Infraestructura y Elementos del Entorno Punto 2. Fuente: Elaboración propia.

Elemento del Entorno	Estado/Caracterización
Calzada	Pavimento de asfalto, cuyo estado de conservación se detalla en la sección anterior "Catastro de Pavimentos". La calzada de la rama norte mide 6,8 m; rama suroriente 6,4 m y rama surponiente 8 m.
Veredas	Material hormigón. Miden entre 1,2 a 1,5 m. Estado de conservación se detalla en la sección anterior "Catastro de Pavimentos". Vereda discontinua en el costado superior de la rama surponiente. En el costado inferior de la misma rama, existen tres niveles de vereda.
Soleras	Buen estado de conservación.
Aceras	La rama surponiente costado superior se encuentra con vereda hasta la zona del paradero. En dicha rama, la acera es de ripio en su mayoría. En general, presenta buen estado de conservación.
Berma	Las calzadas poseen acera como espacio destinado a peatones.
Valla peatonal	Existe en gran parte del sector.
Ciclovía o Ciclobanda	No existe Ciclovía ni Ciclobanda en la zona del punto.
Bahías	Existen bahías en los Paraderos ubicados en el punto.
Dispositivos de rodado.	No existen en los cruces peatonales.
Obras en Ejecución	Se observó una obra de recuperación de espacio público (parque), pero que no afecta en el desarrollo del estudio.
Edificaciones Relevantes	Zona de entrada a la ciudad, por lo que no existen edificaciones importantes, salvo el Piedraplén que conforma la rama suroriente del punto.

- Catastro de Señalización y Demarcación

Los planos de estos catastros se realizaron sobre la base del levantamiento planimétrico, en él se muestra la señalética y demarcación del punto, el emplazamiento de las señales, el sentido de circulación, el número de pistas, los paraderos del transporte público, etc. Información geométrica y de conservación se detalla en las secciones anteriores de Levantamiento de Información en terreno y Catastro de Infraestructura y Elementos del Entorno. A continuación, la representación del plano que muestra una vista en planta y en ella todos los elementos mencionados anteriormente para cada Punto.

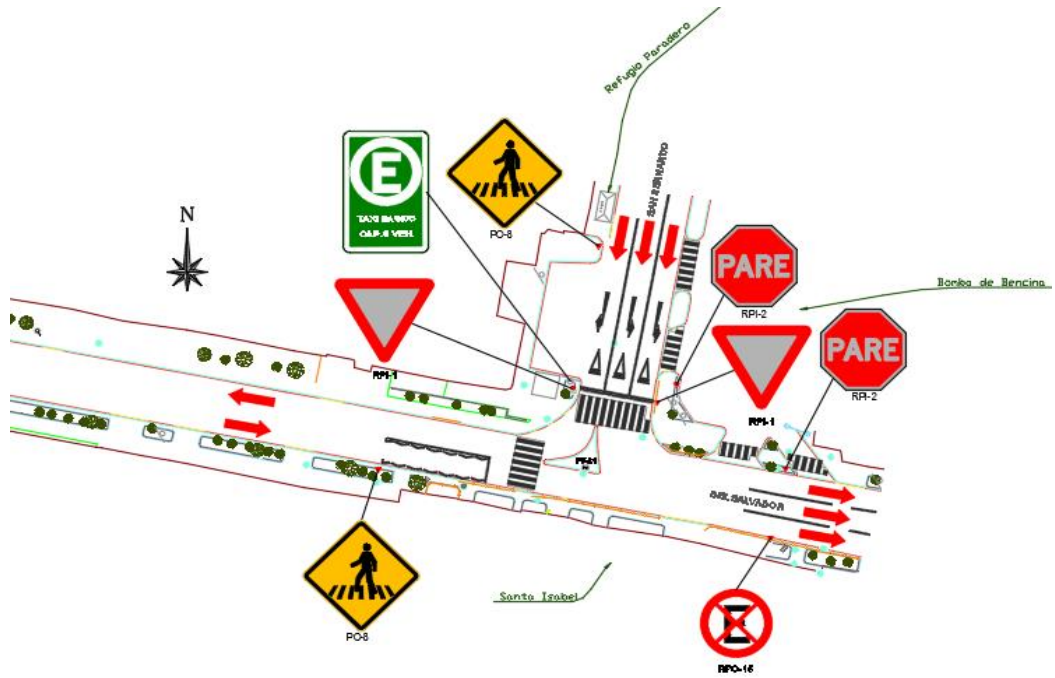


Figura 16. Catastro Operativo Punto 01. Fuente: Elaboración propia.

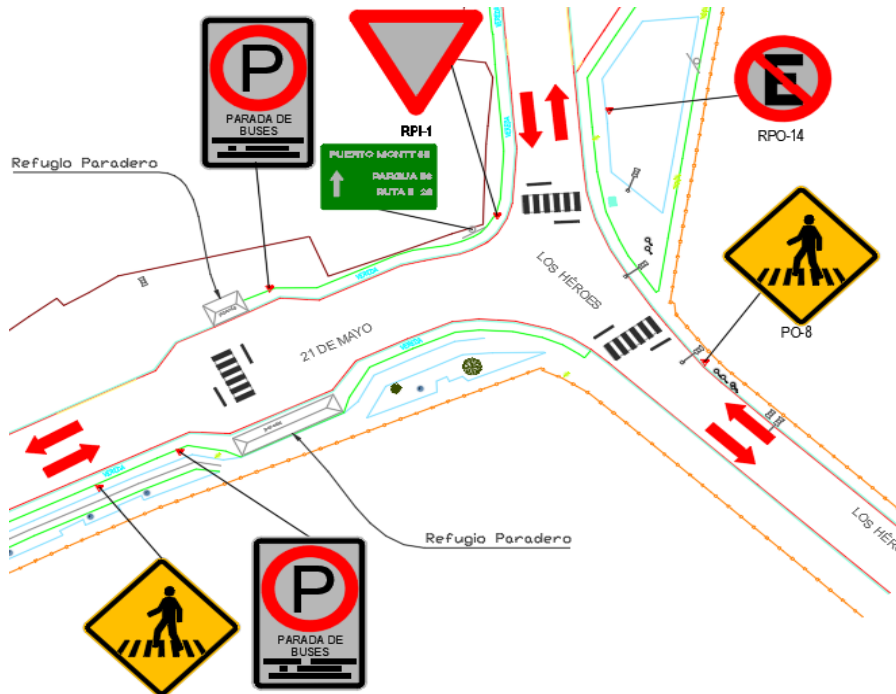


Figura 17. Catastro Operativo Punto 02. Fuente: Elaboración propia.

Los siguientes Catastros se encuentran en la sección Anexo B de la presente Memoria.

- Catastro de Transporte Público
- Catastro de Accidentes de Tránsito
- Catastro Normativo y Operativo
- Catastro Urbanístico y de Paisajismo
- Catastro de las Características relevantes adicionales a las viales
- Catastro de Luminarias
- Catastro de Servicios Simplificado
- Catastro Fotográfico y Fílmico

4.2.2. Modelación del Escenario Actual

Para desarrollar la modelación tanto del Escenario Actual, como de la situación proyectada para ambos puntos, se utilizó el software comercial AIMSUN NG en su versión 8.1. El motivo principal de la selección de dicho programa para esta actividad radica en la disponibilidad y acceso que se tuvo a la licencia. Sin embargo, muchos autores respaldan el uso de esta herramienta en trabajos de simulación microscópica de tráfico. Por ejemplo, Panwai y Dia (2005) realizaron un estudio en el cual desarrollan una comparación entre distintos softwares de microsimulación (AIMSUN NG, PARAMICS Y VISSIM), la cual se orienta en evaluar el modelo de seguimiento vehicular que ellos emplean para representar el comportamiento de los automóviles en un punto o red. Para llevar a cabo la comparación, utilizaron distintas pruebas de errores e indicadores de rendimiento, estos, asociados a las distancias relativas entre vehículos simulados y medidos en pruebas de campo utilizando radares, cuyos resultados mostraron valores promedios de error similares entre VISSIM y PARAMICS, pero mayores que en AIMSUN NG, por lo que concluyeron que este último, el cual se basa en el modelo de Gipps, posee un mayor rendimiento. Por otro lado, según Ipus, Chaves y Riascos (2016), AIMSUN NG destaca sobre otros simuladores por la velocidad excepcional de sus simulaciones, por la combinación de la conceptualización de la demanda, la asignación estática y dinámica de tráfico con simulaciones microscópicas y por la capacidad de evaluar operaciones de tráfico a cualquier escala de complejidad. En la tesis de grado Magíster de Christian Moyano (2017) indica que AIMSUN NG es el simulador más rápido del mercado y de mayor calidad disponible a nivel mundial para proyectos de diferentes escalas. Zúñiga (2010) y Rodríguez (2012) aseguran que AIMSUN NG posee gran facilidad para codificar y simular un punto o una red de manera intuitiva debido a su interfaz gráfica afable proporcionando comodidad y permitiendo la construcción de los modelos de manera más rápida y eficaz. Tras los resultados de las mediciones continuas de flujo, destacó el alto flujo peatonal que se encuentra en el Punto 01, siendo la posible causa de la congestión vehicular que existe en dicha intersección. Se concluyó que el Punto 01 requiere microsimular peatones, para ello, se utilizará el software comercial LEGION (extensión de AIMSUN NG).

A. Construcción del Modelo

La información estática fue obtenida en base a las características físicas que proporciona el plano de topografía, y técnicas que proporcionan los Catastros. La información dinámica se obtuvo a partir de las Mediciones de Flujos Vehicular y Peatonal según el caso, y del Catastro de Transporte Público. En definitiva, se construyó el modelo que representa la situación actual sobre estas informaciones. Se definió como tipología de vehículos a los Livianos, Taxis Colectivos, Taxi Buses y Pesados (representando Camiones y Buses Interurbanos). Lo anterior se realizó en base a los resultados de la composición vehicular observada. A continuación, se presenta los modelos para cada punto.

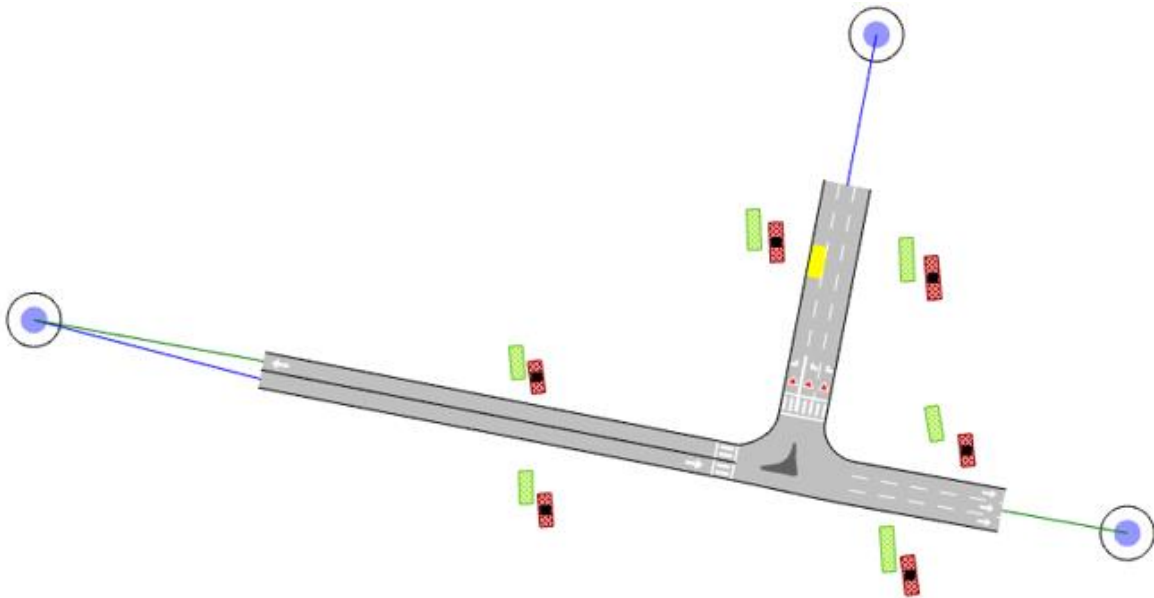


Figura 18. Modelo en AIMSUN NG del Punto 01. Fuente: Elaboración propia.

La demanda de tráfico fue ingresada al programa mediante Matriz OD (Origen - Destino) tanto para vehículos como peatones. Las figuras que rodean el modelo representan las zonas de entrada y salida de flujos (centroides OD), tanto vehiculares (círculos) como peatonales (rectángulos verde-rojo).

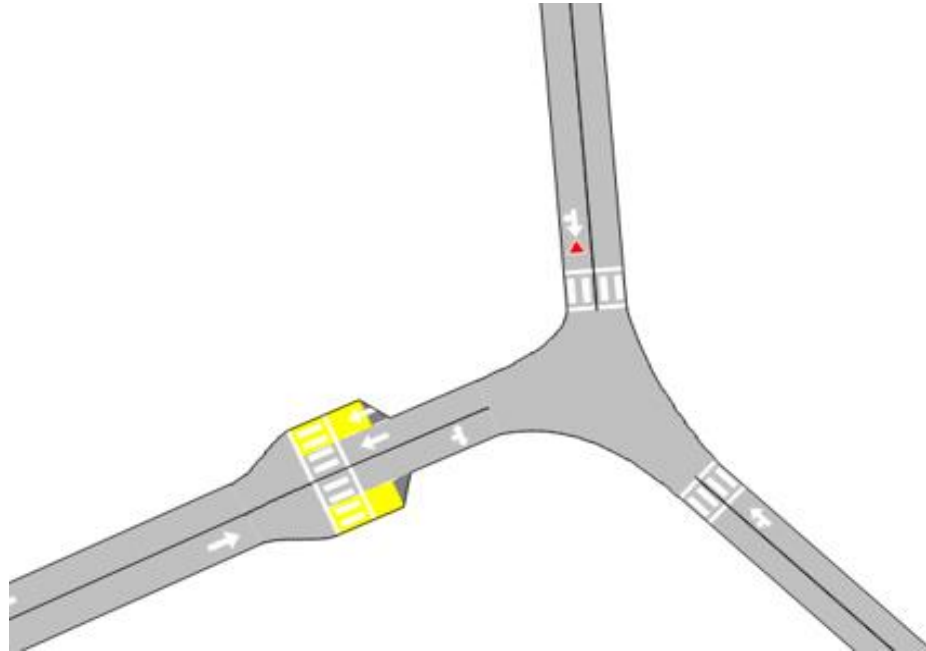


Figura 19. Modelo en AIMSUN NG del Punto 02. Fuente: Elaboración propia.

Para este caso, la problemática que gobierna el punto es el conflicto de tránsito vehicular que se genera en la intersección producto de la permisibilidad de movimientos que en ella existe, en otras palabras, todos los virajes se encuentran permitidos, provocando inseguridad en los conductores. Lo anterior se ve mayormente potenciado por la compleja forma geométrica del punto. En definitiva, a diferencia del Punto 01, la problemática no pasa por la presencia de los peatones, por lo que no es necesario microsimularlos en LEGION. A partir de las mediciones de flujo continuo y de la periodización realizada, se puede observar que, entre las tres horas punta analizadas, la punta mañana (PM) es la hora más cargada, razón por la cual se presentará sólo los resultados de la simulación de dicho período. En la sección Anexo C se presenta el procedimiento completo y detallado de la construcción de los modelos.

B. Calibración del Modelo

La calibración se realizó con la finalidad de ajustar los modelos lo más cercano a la realidad posible utilizando los dos parámetros que la literatura reconoce como los más tradicionales para esta tarea (GEH y Pearson). La calibración fue realizada para cada tipo de vehículo definido en los modelos y para cada período de análisis. El proceso detallado de la calibración se encuentra en Anexo C.

C. Validación del Modelo

A partir de los resultados de la calibración y de las mediciones periódicas (velocidad y longitud de cola), se validó el modelo. El proceso detallado de esta tarea se encuentra en Anexo C.

D. Análisis de Resultados

- Punto 01

El principal problema detectado en terreno se encuentra reproducido perfectamente en la microsimulación (ver siguiente figura).

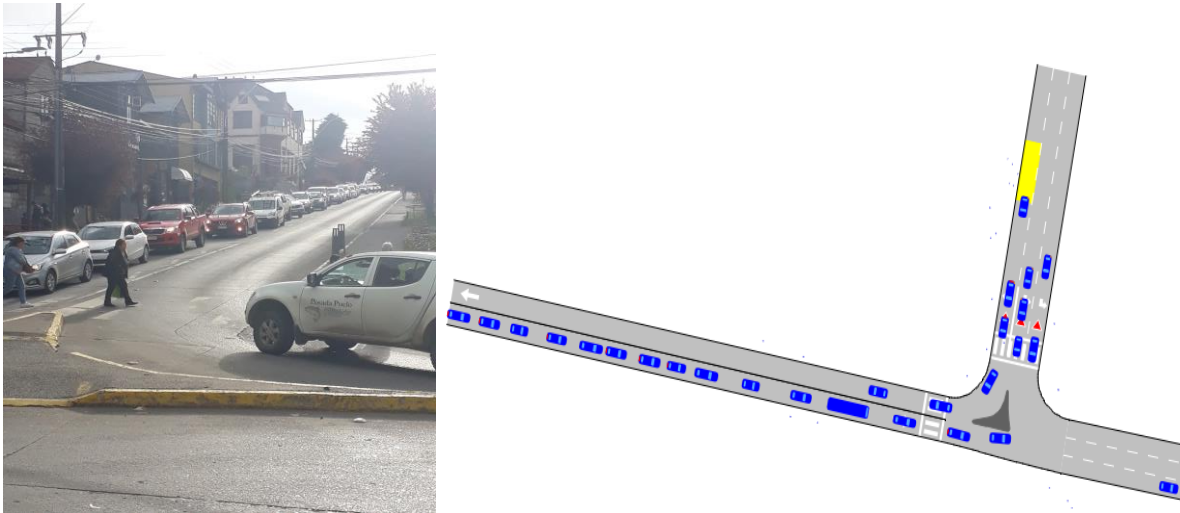


Figura 20. Comparación Fotografía tomada en terreno y Modelo en AIMSUN del Punto 01. Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que la causa principal de la congestión en el punto es la falta de control de los flujos ante la alta presencia de peatones en el sector por ser zona céntrica de la ciudad. Por otro lado, se observa cualitativamente que el largo de cola que se genera en la pista central de la rama norte es del orden de los valores medidos en terreno (ver Anexo B).

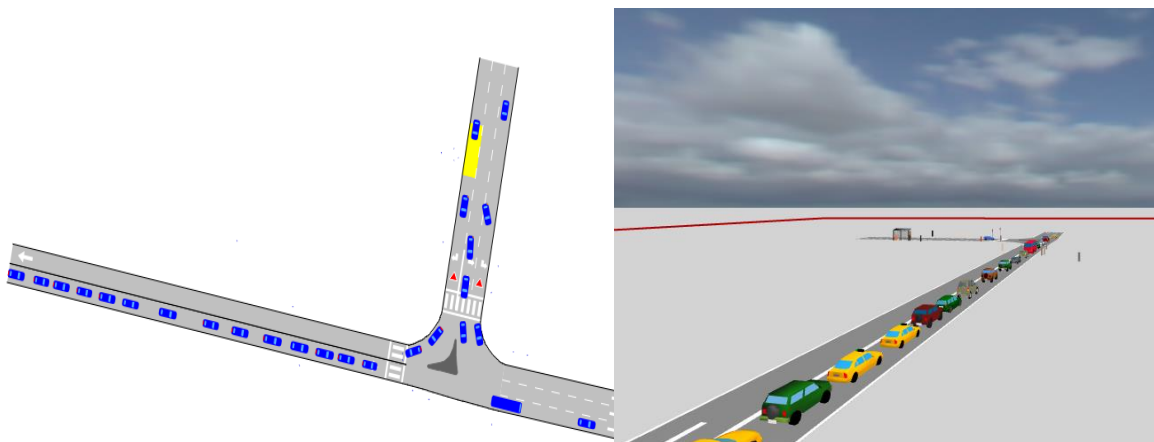


Figura 21. Imagen que muestra la simulación en 2D y 3D (Punto 01) en AIMSUN NG. Fuente: Elaboración propia.

Otro problema que no fue identificado en el diagnóstico preliminar realizado a partir del levantamiento de información en terreno, y que se visualiza perfectamente con la microsimulación, es el conflicto vehicular que se genera cuando los vehículos que acceden a la intersección desde la rama norte quieren tomar la pista sur de la rama suroriente, lo hacen de forma frontal, muchas veces anteponiéndose a los que desde la rama norponiente circulan con derecho en dicha pista. Este problema se agudiza más aún cuando los vehículos que provienen desde el norponiente (Del Salvador) intentan tomar la pista central o superior de la rama suroriente. El conflicto que se genera se puede apreciar en las siguientes figuras.

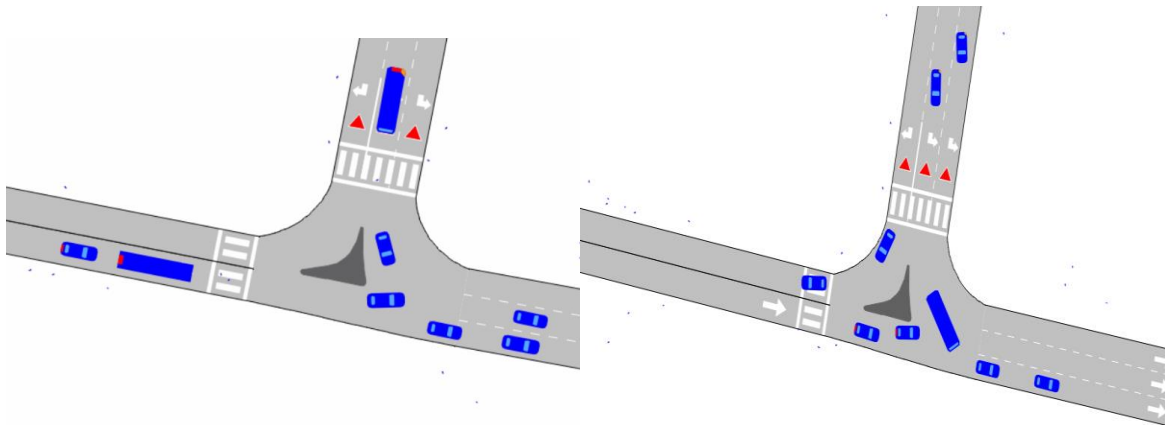


Figura 22. Capturas de pantalla de situaciones de conflicto en el Punto 1. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente imagen se observa con mayor detalle el alto tránsito peatonal en la intersección. En la misma figura se observa el tránsito altamente interrumpido por el paso peatonal ubicado en las vías ante la inexistencia de control semafórico.

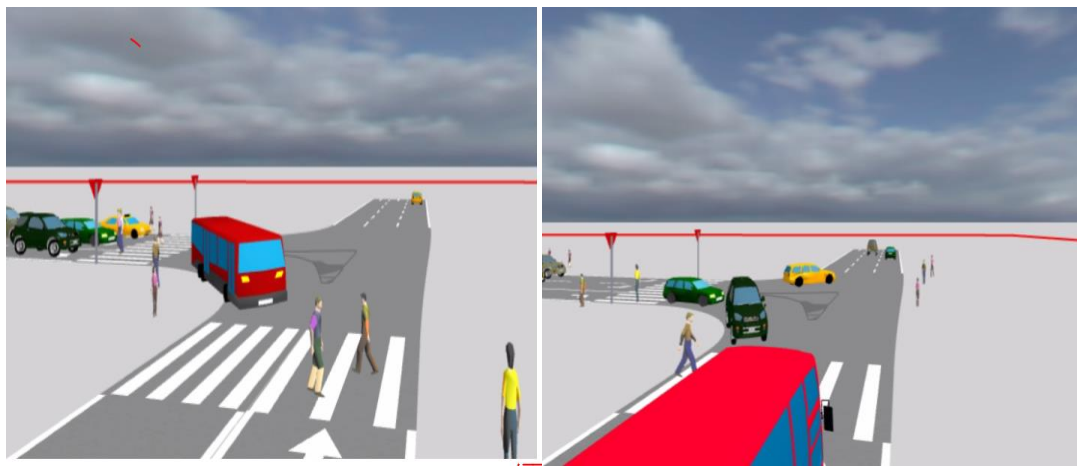


Figura 23. Imagen en 3D de la simulación realizada en el Punto 01. Fuente: Elaboración propia.

- Punto 02

Se observa que el conflicto que gobierna al punto no corresponde a la congestión, sino más bien a la operatividad desde el punto de vista de la seguridad de los conductores al atravesar la intersección. Queda en evidencia que, en una intersección geoméricamente compleja por su forma, no es conveniente permitir todos los virajes.

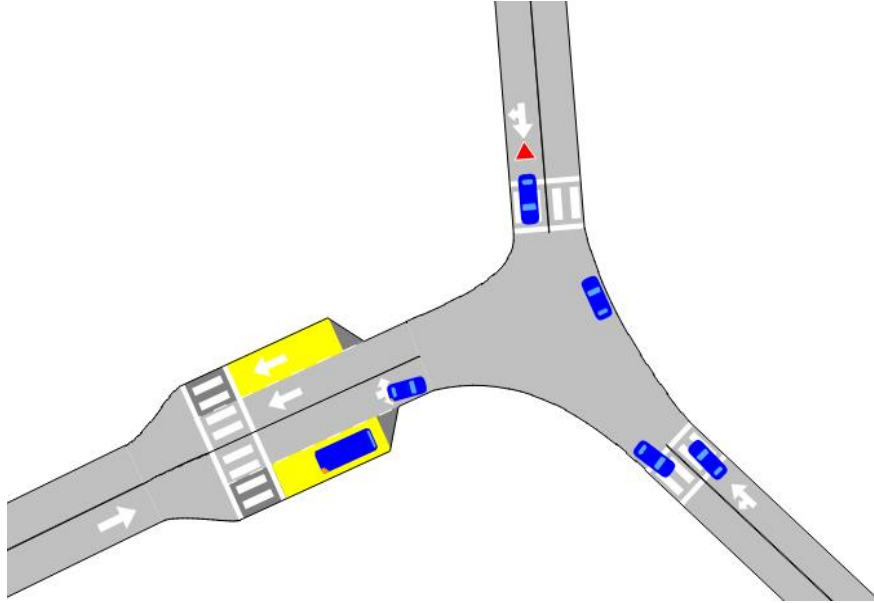


Figura 24. Modelo Escenario Actual del Punto 02. Fuente: Elaboración propia.



Figura 25. Fotografía que enmarca el conflicto en el Punto 02. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior se puede ver la forma en la que confluyen los vehículos a la intersección dada la geometría de esta. Al encontrarse todos los virajes permitidos faculta a los conductores la libertad de escoger la vía que prefieran para salir/ingresar a la intersección, situación que, al no ser canalizada, genera inseguridad en los usuarios. La microsimulación representa la realidad del punto dejando en evidencia la necesidad de canalizar los flujos y prohibir determinados movimientos.

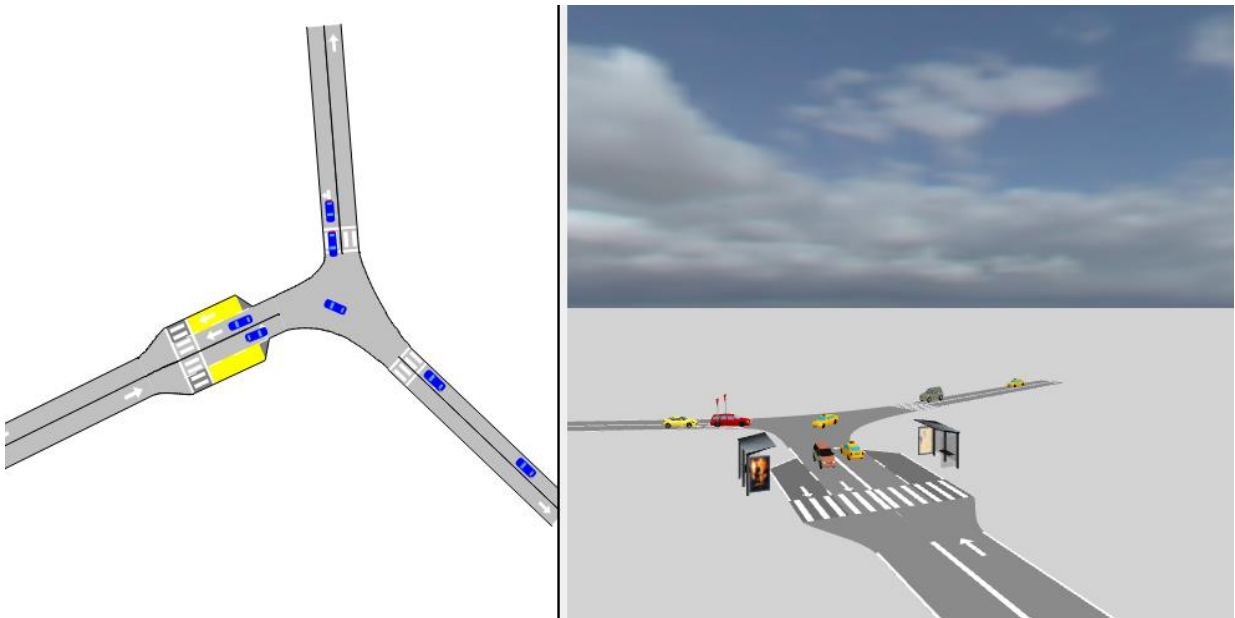


Figura 26. Imagen que muestra en un mismo instante la simulación en 2D y 3D (Punto 02). Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Revisión de Trayectorias del Escenario Actual

Con el objetivo de evaluar la funcionalidad del punto desde la perspectiva de la geometría, se procede a simular las trayectorias en el software comercial de AutoDESK Vehicle Tracking. Esta simulación se realiza sobre el plano topográfico para ambos puntos estudiados. En función de la composición del flujo vehicular, en especial del tipo de camiones que pasan por los puntos, se elige un modelo para evaluar la geometría. Para el caso de Puerto Varas, se observó que transitan camiones de dos ejes, por lo cual se elige el camión AASHTO 2011 SU-9 (2 ejes) para la simulación. Para el caso de Calbuco, se observó en las mediciones de flujo el paso de camiones de tres ejes (pocos), razón por la cual, para efectos de este análisis se considera el camión AASHTO 2011 WB-12 (3 ejes) para simular las trayectorias. A continuación, se presenta los resultados para ambos puntos.

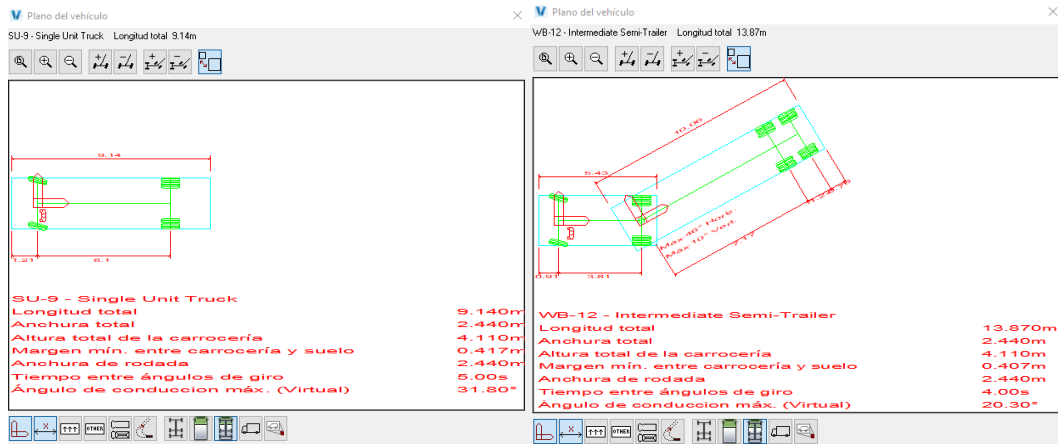


Figura 27. Modelos de Camión 2 y 3 Ejes AASHTO para simular trayectorias. Fuente: Elaboración propia.

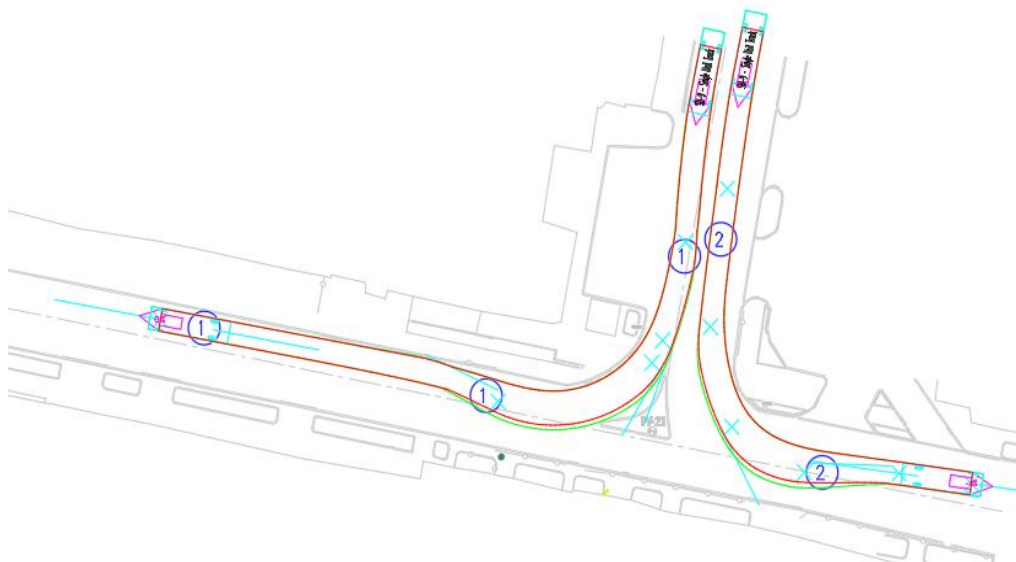


Figura 28. Simulación de Trayectorias P01 en Vehicle Tracking AutoDESK. Fuente: Elaboración propia.



Figura 29. Simulación de Trayectorias P02 en Vehicle Tracking AutoDESK. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que, si bien los camiones pasan por las intersecciones con ciertas dificultades, a baja velocidad y tomando parte de la pista contraria (lo cual se permite en estos casos), la funcionalidad geométrica no se ve fuertemente afectada en ambos Puntos.

4.2.4. Diagnóstico Definitivo de los Puntos

Cada uno de los diagnósticos que contempla la metodología se presentan en el siguiente cuadro resumen para ambos puntos.

Tabla 23. Diagnósticos definitivos de los Puntos. Fuente: Elaboración propia.

Diagnóstico	Punto 01 – Puerto Varas	Punto 02 – Calbuco
Operativo	<p>Intersección de Prioridad, con forma de “T” emplazada en el centro de la ciudad y regulada por señal “Ceda el Paso”, a pesar de que una sola pista de las tres disponibles en la vía secundaria, es la que pierde prioridad. La demarcación se encuentra deteriorada en algunos sectores.</p> <p>En relación con el Transporte Público, existe un paradero formal con refugio en el cual buses rurales toman y dejan pasajeros ubicado en calle San Bernardo. Al mismo tiempo, existe una parada informal en calle Del Salvador en la cual los buses rurales se detienen a dejar pasajeros entorpeciendo en alguna medida la circulación.</p> <p>Los peatones circulan por la intersección utilizando dos pasos de cebra habilitados.</p>	<p>Intersección de Prioridad, con forma de “Y” ubicado en el sector norte, a la entrada de la ciudad. En ella, todos los virajes se encuentran permitidos, provocando un desorden e inseguridad en la circulación. La demarcación se encuentra deteriorada en algunos sectores.</p> <p>En lo que respecta al transporte público del lugar, buses rurales y taxis colectivos circulan por la intersección. Existe dos paraderos formales con refugio peatonal.</p> <p>Los peatones circulan por la intersección a través de tres pasos de cebra habilitados. Uno de ellos presenta un mal posicionamiento dado que interfiere con el refugio peatonal y con la operación del transporte público.</p>
Movilidad y Fluidez	<p>La movilidad se ve fuertemente afectada por los altos flujos peatonales que existen en el punto entorpeciendo el tránsito vehicular y generando importante congestión, ya que, al no haber control de fases para la circulación, los transeúntes</p>	<p>No hay problemas de movilidad y tampoco de fluidez para los conductores debido a que en el punto estudiado no existen flujos altos. Existe algunos deterioros en la vía pero que no generan en mayor medida dificultades al</p>

	utilizan de forma ininterrumpida los pasos de cebra.	tránsito. En relación con la movilidad peatonal, no existe dispositivos de rodado para los transeúntes lo que representa un problema de desplazamiento en el sector. Existe discontinuidad de la vereda ubicada en la rama surponiente del punto, generando un problema de desplazamiento para los peatones en dicho sector.
Accesibilidad	Si bien existen soleras rebajadas en los cruces peatonales, estos se encuentran fuera de la normativa que la OGUC (2016) exige para la accesibilidad universal, tanto en el dimensionamiento (miden menos de los 1,2 m que exige dicha normativa) como en la ausencia de franja táctil.	No existen dispositivos de rodado en los cruces peatonales, generando un claro problema de accesibilidad a los peatones. Existe discontinuidad de la vereda ubicada en la rama surponiente de la intersección, generando problemas de accesibilidad en dicho sector.
Seguridad y Confort	La seguridad de los actores del tránsito se puede ver afectada producto de dos problemas. Primero, por el alto flujo peatonal que existe en la intersección y que no se encuentra regulada por semáforos. El conflicto se produce porque los peatones se mueven a través de los pasos de cebra de manera ininterrumpida generando que los conductores se impacienten y realicen movimientos impertinentes. Prueba de eso son los 8 accidentes que se han registrado en el lugar, donde 4 son colisiones y 4 atropellos. El segundo problema puede justificar las 4 colisiones. Tal como se vio en la microsimulación de la situación actual, vehículos provenientes desde San Bernardo toman la pista en la cual provienen los autos aguas arriba de la intersección, provocando un importante conflicto lo que se refleja en el registro de accidentes que indica que 3 de las 4 colisiones se	Tal como se mencionó anteriormente, este punto presenta un importante problema de seguridad para los conductores debido a la geometría de la intersección y a la permisibilidad de los giros en el punto. Al no existir dispositivos de rodado en la intersección, la sensación de confort se ve potencialmente disminuida en los usuarios. Existe discontinuidad en la vereda de la rama surponiente de la intersección, generando incomodidad a los usuarios que transitan por dicho sector.

	atribuyen a vehículos provenientes de San Bernardo que chocan con vehículos de Del Salvador y 1 se debe a un movimiento impertinente de un vehículo proveniente de Del Salvador (ver figura 22).	
Condicionantes Urbanas	El proyecto contempla la propuesta de soluciones de bajo costo, por lo que intervenir significativamente la geometría de las vías no está dentro de las posibilidades, razón por la cual, las líneas de edificación, cierres, u otros que condicionan el espacio, condicionan también el diseño. En el lugar existe Supermercado al sur, Estación de Servicios al oriente, y Centro comercial al poniente, entre muchos otros debido a que el punto está emplazado en zona céntrica.	El proyecto contempla la propuesta de soluciones de bajo costo, por lo que intervenir significativamente la geometría de las vías no está dentro de las posibilidades, razón por la cual, las líneas de edificación, cierres, u otros que condicionan el espacio, condicionan también el diseño. En la rama surponiente, existen tres niveles de vereda, lo cual podría permitir, eliminando una de ellas, una pequeña ampliación. La rama norte se encuentra condicionado espacialmente por la propiedad privada y por una zona peatonal recién construida. La rama suroriente se emplaza sobre el Piedraplén que representa la entrada a la ciudad.
Infraestructura	Tal como se mencionó anteriormente, el punto se encuentra provisto de dispositivos de rodado, sin embargo, estos se encuentran fuera de normativa.	A partir del Catastro de Pavimentos se observan ciertos tramos con deterioros en la carpeta de rodado. Como se mencionó anteriormente, la intersección carece de dispositivos de rodado lo cual representa un problema de infraestructura del punto. En relación con las veredas, existe discontinuidad en la rama surponiente del punto.
Geometría	A partir de lo observado en terreno, y confirmado con la simulación de trayectorias, no se observan problemas de funcionamiento, por lo que no existen problemas relevantes de la geometría.	A partir de lo observado en terreno, y confirmado con la simulación de trayectorias, no se observan problemas de funcionamiento, por lo que no existen problemas relevantes de la geometría.

4.3. Solución

4.3.1. Requerimientos de las Autoridades Locales

Hubo diversas instancias de participación con las autoridades locales, dentro de las cuales destacan:

- Reunión de Inicio y presentación de los resultados de las actividades de Topografía y Mediciones de Tránsito con los organismos involucrados en el Proyecto (UOCT, SERVIU, MOP, MUNICIPIOS, SEREMITT, SECTRA, CGM).
- Visita a terreno en conjunto con el Director del Estudio.
- Visita a terreno en conjunto con la representante de la Municipalidad de Puerto Varas para recoger opiniones y requerimientos en el marco de las soluciones.
- Visita a terreno en conjunto con el representante de la Municipalidad de Calbuco para recoger opiniones y requerimientos en el marco de las soluciones.
- Reunión con los organismos involucrados en el proyecto para presentar avance y resultados parciales del estudio.

- Requerimientos Punto 1, Puerto Varas

Los requerimientos de las autoridades locales de Puerto Varas en relación con este punto no difieren de lo contemplado tras el desarrollo del diagnóstico. En particular, destaca lo siguiente.

- Analizar unidireccionalidad de calle Del Salvador en sentido norponiente a suroriente en caso de que un eventual control semafórico no solucione los problemas que existen en el punto.
- Evaluar la velocidad que existe en Del Salvador en dirección suroriente.

- Requerimientos Punto 2, Calbuco

Entre los requerimientos de las autoridades locales de Calbuco en relación con este punto, destaca lo siguiente.

- Se descarta dejar tramo norte de calle Los Héroes unidireccional en sentido sur-norte debido a que aguas arriba existe una fuerte pendiente que impide que camiones de importante tonelaje suban, razón por la cual es indispensable mantener calle 21 de Mayo bidireccional para que los camiones suban por esta última vía.
- Se genera gran acumulación de agua en las bahías de los paraderos. Es necesario implementar medidas que soluciones esta problemática.

4.3.2. Análisis de Justificación de Semáforos

Se realizó el Análisis de Justificación de Semáforos conforme a lo indicado en el Capítulo 4 del Manual de Señalización de Tránsito. El resumen de los resultados se presenta a continuación para cada Punto estudiado.

Tabla 24. Resumen Justificación de Semáforo Punto 01. Fuente: Elaboración conjunta con Equipo de Tránsito CGM.

Punto	INTERSECCIÓN	CRITERIOS PARA JUSTIFICACIÓN DE SEMÁFOROS				JUSTIFICA SEMÁFORO
		Flujo Vehicular	Flujo Peatonal	Accidentalidad	Umbral Reducido	
01	Del Salvador - San Bernardo	NO	SI	NO	NO	SI

Como se desprende del cuadro anterior en este punto se justifica un semáforo.

Tabla 25. Resumen Justificación de Semáforo Punto 02. Fuente: Elaboración conjunta con Equipo de Tránsito CGM.

Punto	INTERSECCIÓN	CRITERIOS PARA JUSTIFICACIÓN DE SEMÁFOROS				JUSTIFICA SEMÁFORO
		Flujo Vehicular	Flujo Peatonal	Accidentalidad	Umbral Reducido	
02	21 de Mayo - Los Héroes	NO	NO	NO	NO	NO

Como se desprende del cuadro anterior en este punto no se justifica un semáforo. El detalle del procedimiento completo del Análisis de Justificación de semáforos se encuentra en el Anexo B.

4.3.3. Análisis Preliminar de Propuestas

La propuesta de solución que responde a todos los elementos del diagnóstico desarrollado se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla 26. Propuestas de solución para los Puntos estudiados. Fuente: Elaboración propia.

Diagnóstico	Propuestas Punto 1	Propuestas Punto 2
Operativo	<ul style="list-style-type: none"> Se refuerza demarcación en Proyecto de Seguridad Vial. Se controla el tránsito vehicular y peatonal por medio de Proyecto de Semaforización. Se elimina la parada informal de calle Del Salvador con señal vertical 	<ul style="list-style-type: none"> Se refuerza demarcación en Proyecto de Seguridad Vial. Se disminuye los conflictos vehiculares canalizando los flujos, prohibiendo virajes al convertir el tramo norte de los Héroes en vía unidireccional, y se añade pista exclusiva de viraje para acceder a ella.

	<p>que prohíbe estacionarse y detenerse.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se elimina un paso peatonal dejando sólo dos en la intersección (rama norte y rama surponiente). • Se desplaza paso de cebra que generaba incomodidad en los usuarios al estar situado en el centro de las bahías.
Movilidad y Fluidez	<ul style="list-style-type: none"> • Se mejora la movilidad del tránsito vehicular y peatonal por medio de Proyecto de SemafORIZACIÓN. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se incorpora dispositivos de rodado que cumplen con la normativa de Accesibilidad Universal (OGUC, 2016) mejorando el desplazamiento de los peatones. • Se dará continuidad a la vereda de la rama surponiente en el Proyecto de Pavimentación, mejorando el desplazamiento de los usuarios del sector.
Accesibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Se incorpora dispositivos de rodado que cumplen con la normativa de Accesibilidad Universal (OGUC, 2016) mejorando el desplazamiento de los peatones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se incorpora dispositivos de rodado que cumplen con la normativa de Accesibilidad Universal (OGUC, 2016) mejorando el desplazamiento de los peatones. • Se dará continuidad a la vereda de la rama surponiente en el Proyecto de Pavimentación, mejorando la accesibilidad al transporte público.
Seguridad y Confort	<ul style="list-style-type: none"> • La seguridad vehicular y peatonal se mejora incorporando semáforos para regular la operatividad de la intersección. • Se genera líneas continuas entre pistas, estableciendo exclusividad de estas, para cada movimiento del punto, lo cual elimina el riesgo de colisión producto del cambio de pista libre que existía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se disminuye los conflictos vehiculares canalizando los flujos, prohibiendo virajes al convertir el tramo norte de los Héroes en vía unidireccional, y se añade pista exclusiva de viraje para acceder a ella. • Se mejora la comodidad peatonal por medio de la incorporación de dispositivos de rodado que cumplen con la normativa de Accesibilidad Universal. • Se dará continuidad a la vereda de la rama surponiente en el Proyecto de Pavimentación mejorando la comodidad de los usuarios que transitan en dicho sector.

<p>Condicionantes Urbanas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • No se consideran mejoras a las condicionantes urbanas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se elimina un nivel de vereda en la rama surponiente permitiendo la ampliación de media pista en un tramo determinado, lo cual, ajustando los anchos de pista existentes, permite incorporar una de viraje para ingresar al tramo norte de calle Los Héroes que se convierte en unidireccional de sur a norte.
<p>Infraestructura</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se incorpora dispositivos de rodado que cumplen con la normativa de Accesibilidad Universal (OGUC, 2016) mejorando la infraestructura del punto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se incorpora dispositivos de rodado que cumplen con la normativa de Accesibilidad Universal (OGUC, 2016) mejorando la infraestructura del punto. • Se realizará repavimentación de ciertos tramos puntuales de la intersección cuyo pavimento se encuentra en mal estado. • Se proyectará el pavimento de un tramo de vía (ancho media pista aproximadamente) en la rama surponiente del punto, permitiendo añadir una pista de viraje hacia la rama norte de la intersección. • Se dará continuidad a la vereda de la rama surponiente en el Proyecto de Pavimentación, mejorando de esta manera la infraestructura del sector. • Se repavimentará las bahías para evacuar las aguas lluvias que se acumulan en ellas, mejorando los problemas de saneamiento requeridos por la autoridad local de Calbuco.
<p>Geometría</p>	<ul style="list-style-type: none"> • No se considera mejoras a problemas relacionados con la geometría del sector. 	<ul style="list-style-type: none"> • Al proyectar pavimentación sobre la calzada, se hace necesario considerar Proyecto de Diseño Geométrico en las zonas de intervención.

4.3.4. Desarrollo de los Proyectos Definitivo

En base a lo planteado anteriormente, se procede a desarrollar los proyectos que dan solución a las problemáticas identificadas en los puntos estudiados. Se adjunta en los Anexos digitales, los planos en formato CAD. En él se encuentra la simbología, planos de detalle, viñeta utilizada, entre otros detalles y especificaciones. A continuación, se presenta las capturas de pantalla de dichos planos y lineamientos generales del diseño.

A. Punto 1 – Del Salvador con San Bernardo, Puerto Varas.

- Proyecto de SemafORIZACIÓN

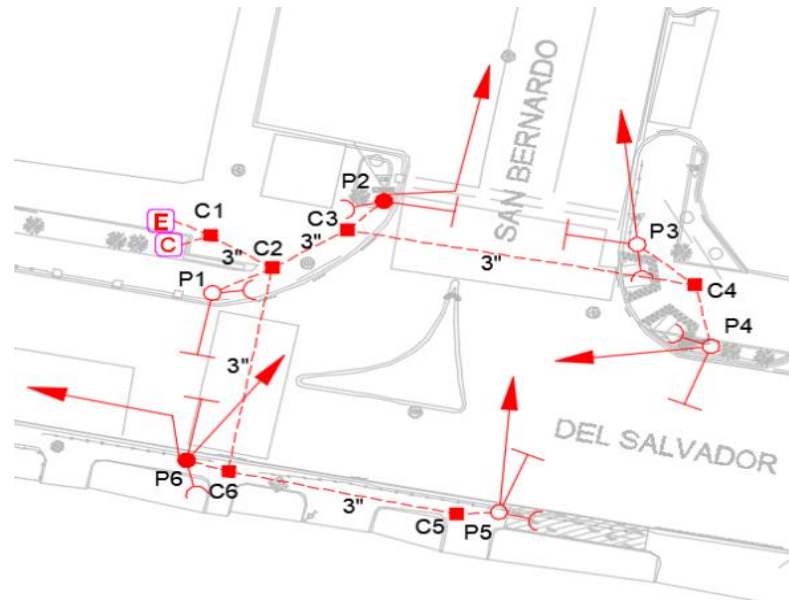


Figura 30. Proyecto de Seguridad Vial Punto 1. Fuente: Elaboración conjunta con el Equipo de Diseño CGM.

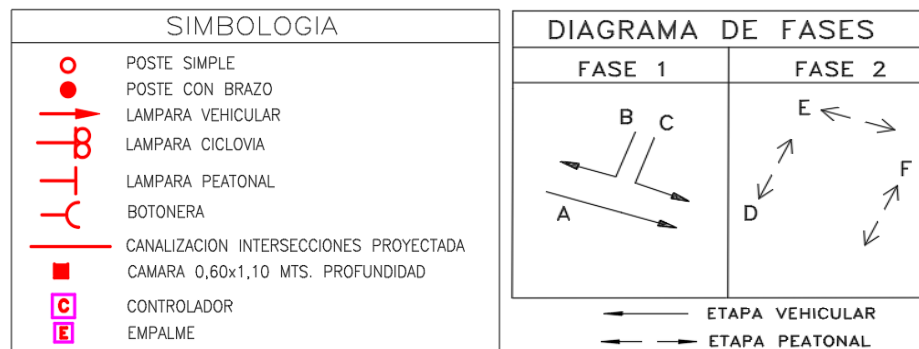


Figura 31. Proyecto de Seguridad Vial Punto 1. Fuente: Elaboración conjunta con el Equipo de Diseño CGM.

- Conforme con el análisis de justificación de semáforos, se propone un proyecto de semaforización, el cual contempla 2 fases. En la primera, todos los vehículos tienen derecho de paso (verde), lo cual no genera conflictos vehiculares debido a que, en el Proyecto de Seguridad Vial se consideró pistas exclusivas para cada movimiento, sin permitir el cambio de pista inmediatamente al cruzar por la intersección. La segunda fase, todos los peatones

tienen derecho de paso simultáneamente, lo cual no genera conflictos con los vehículos dado que estos están todos detenidos en ese instante (todo rojo). Se formalizó dos cruces peatonales en la intersección respondiendo al alto flujo de peatones y facilitando su circulación.

- Se disponen las lámparas en función de lo que establece el Manual de Señalización de Tránsito Capítulo 4.

- Proyecto de Seguridad Vial

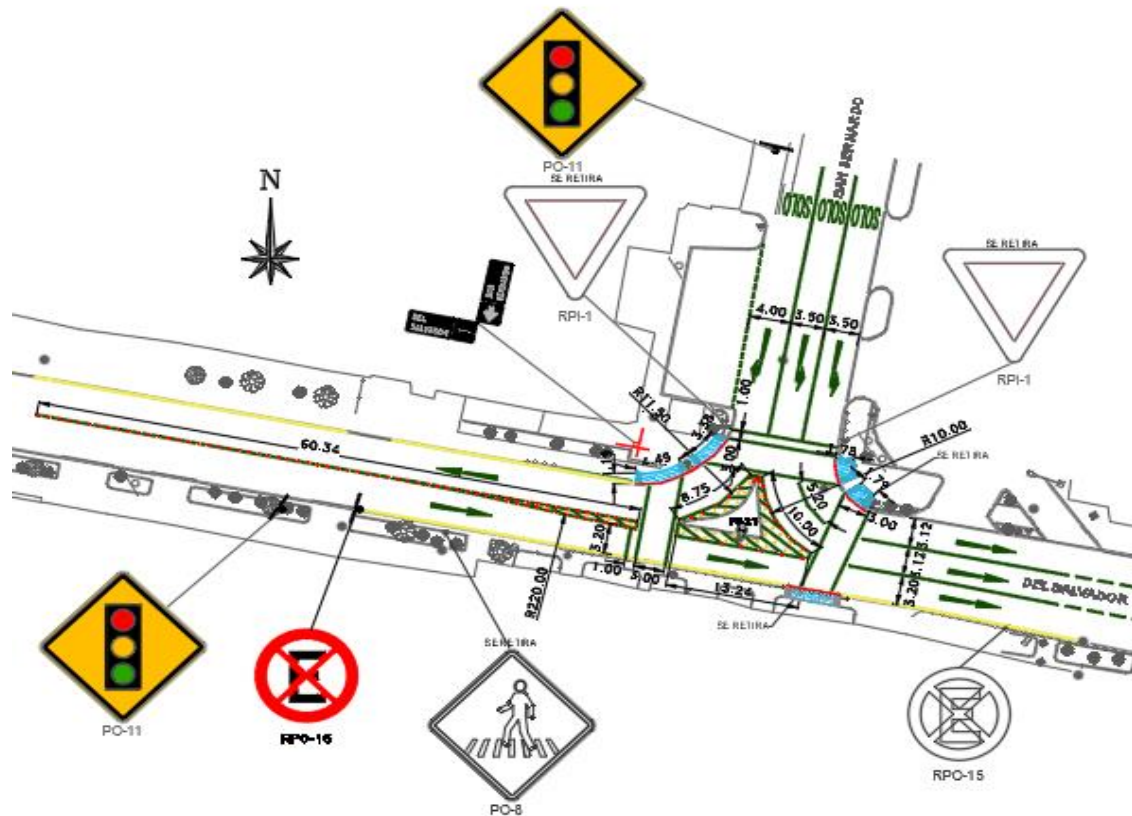


Figura 32. Proyecto de Seguridad Vial Punto 1. Fuente: Elaboración conjunta con el Equipo de Diseño CGM.

- Se genera pistas exclusivas para el desplazamiento en la intersección evitando conflictos vehiculares que puedan terminar en colisión, como se observa en la microsimulación (ver figura 22).
- Se proyecta solera amarilla para prohibir estacionar sobre la acera en las cercanías de la intersección.
- Se retira señal de advertencia de cruce peatonal y se añade señales de advertencia de intersección semaforizada.
- Los radios de giro diseñados corresponden 10 y 11.5 m, siendo 1,0 m el mínimo que sugiere el REDEVU (2009) para diseñar en intersecciones urbanas donde no existe espacio disponible para curvas más amplias, donde no se desea reducir el espacio

peatonal para ampliar la curva, donde el paso de vehículos pesados es escaso y se desea incentivar maniobras lentas.

- El funcionamiento en términos de geometría se evaluará con la simulación de trayectorias en la sección posterior.
- Se prolongo la isla con demarcación, tachas y tachones, con la finalidad de canalizar los flujos que circulan por el punto.

- Proyecto de Pavimentación y Demolición

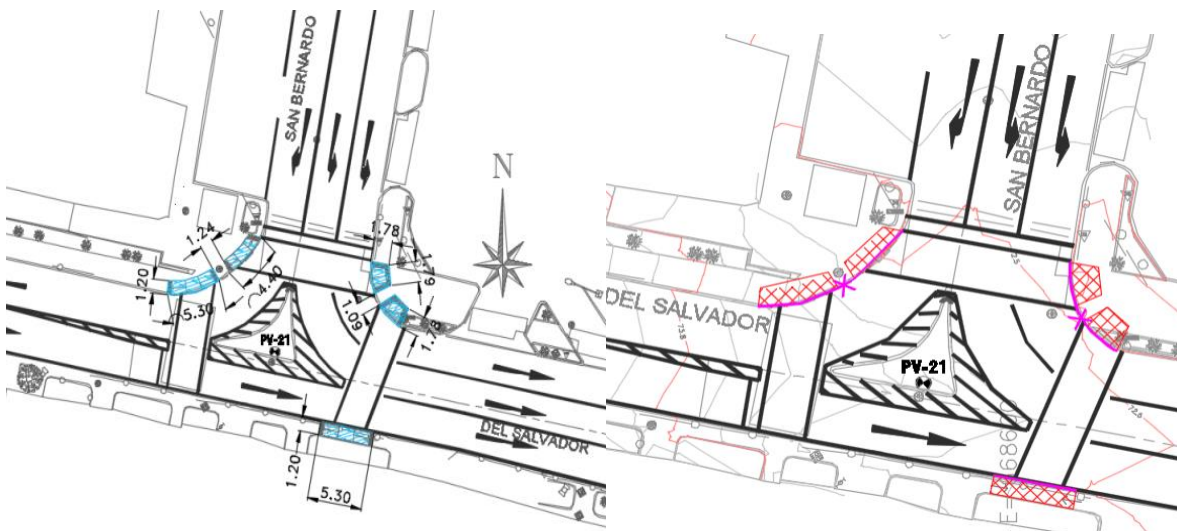


Figura 33. Proyecto de Pavimentación (izquierda) y Demolición (derecha) Punto 1. Fuente: Elaboración conjunta con el equipo de diseño CGM.

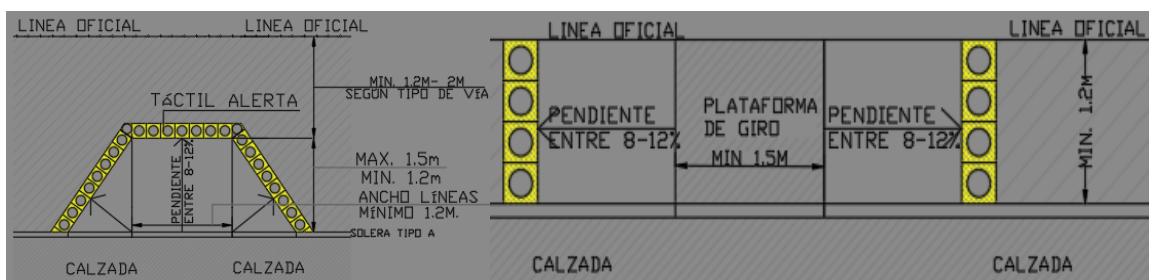


Figura 34. Detalle de requerimientos mínimos para los dispositivos de rodado. Fuente: Planos tipo SERVIU.

- Estos proyectos implican eliminar las veredas y soleras existentes en las zonas destacadas e implementar dispositivos de rodado que cuentan con lo exigido en la Normativa de Accesibilidad Universal (OGUC, 2016).

- La elección de uno u otro tipo de dispositivo radica únicamente en el espaciamiento existente en la zona donde se requiere implementar.
- Más especificaciones, detalles y perfiles, en Anexo Digital adjunto, en el cual se tiene ambos planos en formato CAD.

B. Punto 2 - 21 de Mayo - Los Héroes, Calbuco.

- Proyecto de Seguridad Vial

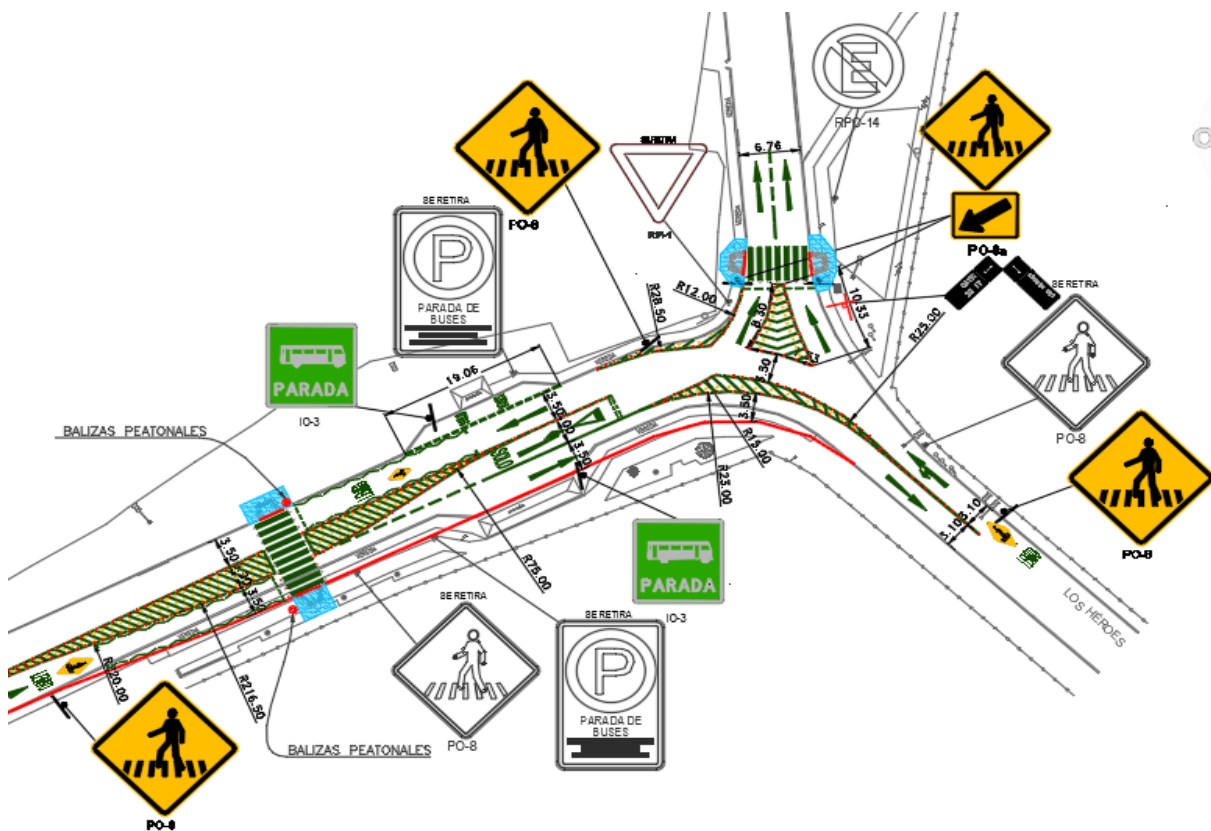


Figura 35. Proyecto de Seguridad Vial Punto 2. Fuente: Elaboración conjunta con el Equipo de Diseño CGM.

- Se convirtió la rama norte en unidireccional de sur a norte eliminando gran parte de los conflictos que se generaban por tener todos los movimientos permitidos. Los flujos que ingresaban a la intersección desde dicho acceso, ahora lo harán desde calle 21 de Mayo.
- Se genera pista exclusiva de viraje para acceder a la rama norte a partir de una ampliación menor del tramo surponiente del punto (21 de Mayo). Esta pista de viraje tiene un ancho de 3 m, y pierde prioridad frente al flujo que atraviesa la intersección desde la rama suroriente al surponiente. Una curva situada en una intersección, en la cual se quiere promover velocidades bajas y que no resulten inadecuadas para el cruce

peatonal, se permite un radio mínimo de 1,0-2,0 m en algunos casos, por lo cual el radio de esta pista (12 m) se encuentra dentro de lo recomendado por el REDEVU (2009).

- Considerando lo que indica REDEVU (2009), se cumple con el ancho mínimo recomendable para islas que resguardan el tránsito peatonal (2 m) especialmente cuando existe un cruce habilitado fuera de la intersección.
- El Manual de Señalización de Tránsito indica demarcación en zigzag cuando se encuentra un paso de cebra fuera de una intersección.
- Se eliminó un cruce peatonal, dejando sólo dos en la intersección y se desplazó uno de ellos hacia el surponiente para no interrumpir el funcionamiento del paradero.

- Proyectos de Pavimentación y Demolición



Figura 36. Proyecto de Pavimentación Punto 2. Fuente: Elaboración conjunta con el Equipo de Diseño CGM.

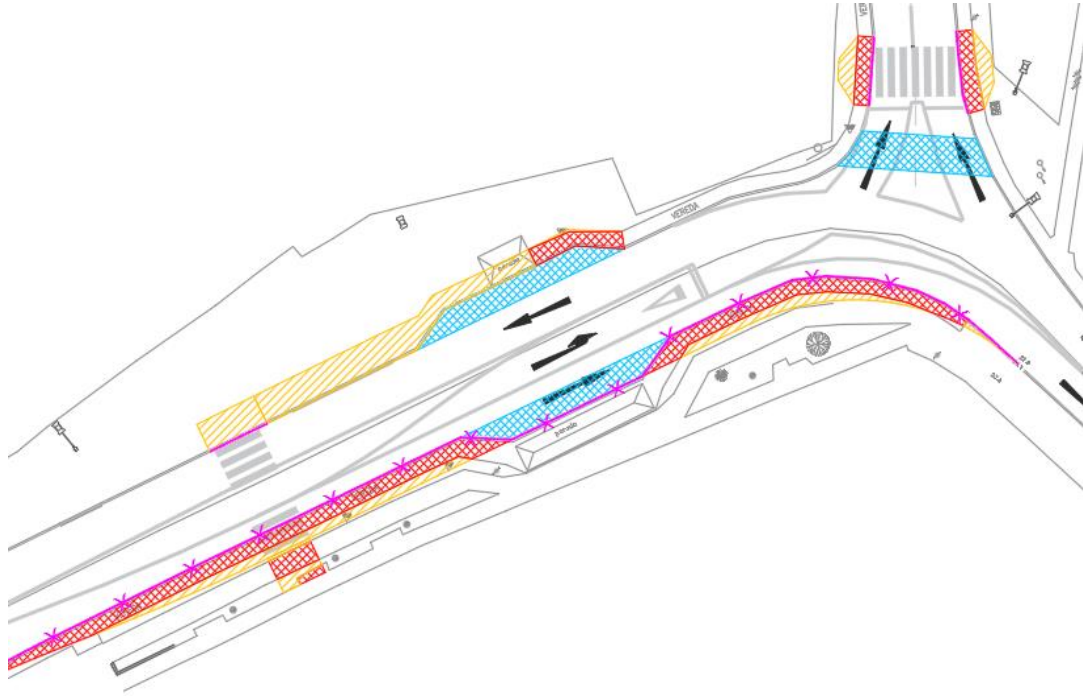


Figura 37. Proyecto de Demolición Punto 2. Fuente: Elaboración conjunta con el Equipo de Diseño CGM.

- Se demuele un nivel de vereda para realizar una ampliación de media pista (2 m), lo que, conforme con la geometría de la calzada, permite generar una pista de viraje para acceder a la rama norte de la intersección, la cual se convierte en una vía unidireccional.
- Se demuelen las bahías existentes para generar una nueva pavimentación con la adecuada pendiente que permita evacuar las aguas lluvias que se acumulan en el lugar.
- Se implementan dispositivos de rodado que cumplen con los parámetros mínimos exigidos por la Normativa de Accesibilidad Universal (OGUC, 2016).
- En el Proyecto de Pavimentación se genera una prolongación de la vereda de la rama surponiente que se encontraba discontinuada para mejorar la accesibilidad del sector.
- Se repavimenta el paño de pavimento que se encuentra deteriorado en la entrada de la rama norte.
- Se considera vereda reforzada en el tramo surponiente, al costado del paradero norte, por la existencia de un acceso vehicular (9,22 m x 2,5 m).
- Para el diseño estructural de pavimento, se utiliza la Cartilla que se basa en el Método Mecanicista de la AASHTO. Esta cartilla se encuentra en el Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, que es la normativa que rige en la Región de Los Lagos para vialidad urbana. A continuación, se presenta la carilla.

TIPODE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	CARACTERÍSTICA	CBR SUBRASANTE (%)				
				≤ 3	4-7	8-12	13-20	>20
PASAJE	≤ 50.000 EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	150	140	130	130	120
		Base	CBR>=60	300	150	150	150	150
LOCAL	≤ 200.000 EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	160	150	140	130	130
		Base	CBR>=60	300	150	150	150	150
DE SERVICIO	≤ 1.000.000 EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	170	160	150	140	140
		Base	CBR>=60	300	150	150	150	150

Figura 38. Cartilla de Diseño Estructural en Hormigón. Fuente: Código de Normas, MINVU, 2008.

Se considera en el diseño, carpeta de hormigón, con base granular y subrasante de suelo natural compactado. En el Plan Regulador Comunal de Calbuco no especifica el tipo de vía, pero conforme a las características es posible asumir que corresponde a un tipo de vía de servicio. Se considera el tipo de suelo más desfavorable para la subrasante con CBR igual a 3%, y se obtienen los siguientes valores de diseño:

- Espesor Hormigón: 170 mm
- Resistencia media a la flexotracción de 50 kg/cm² a los 28 días.
- Espesor de Base: 300 mm
- Base estabilizada CBR mayor igual 60%
- Subrasante de suelo natural compactado con CBR mayor igual a 18% a 95% DMCS.
- Separación de juntas transversales a 3,5 m.

Con los espesores obtenidos, se proyecta el perfil estructural de pavimentos, considerando además el uso de solera tipo A que tiene como propósito confinar el pavimento y brindar una unión homogénea entre el pavimento existente y el proyectado. Detalle de los perfiles transversales, dispositivos de rodado, pavimentación de veredas, se encuentra en el Anexo Digital adjuntado al presente trabajo de título.

- Proyecto de Diseño Geométrico

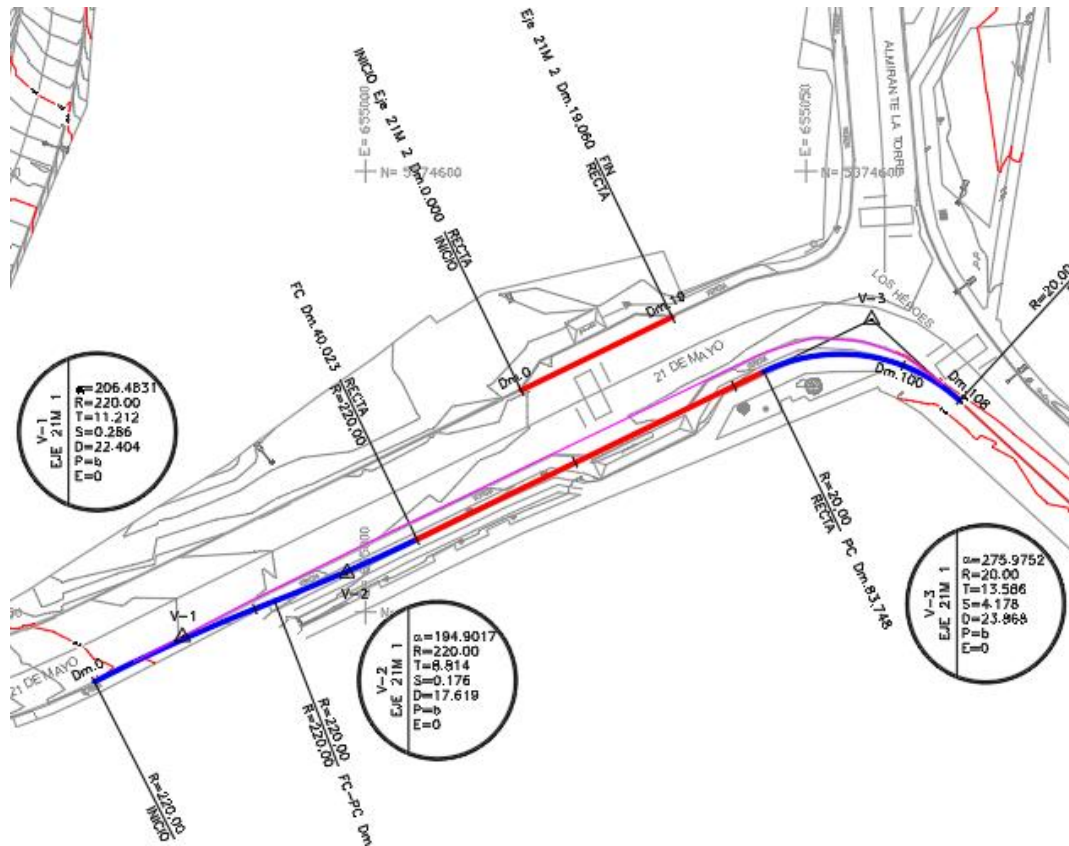


Figura 39. Proyecto de Diseño Geométrico Punto 2. Fuente: Elaboración conjunta con el Equipo de Diseño CGM.

- El alineamiento del diseño geométrico se realizó sobre la proyección de solera. Está compuesta por dos tramos rectos (uno en zona de bahía norte) y dos curvas.
- El primer tramo de curva se encuentra en contraperalte, y cuya velocidad de diseño es de 50 k/h (zona urbana) por lo que el radio mínimo para dicha velocidad, conforme a lo especificado por el REDEVU (2009) es de 220 m y un desarrollo de 40 m por lo que se cumple con lo recomendado.
- El segundo tramo de curva se asume una velocidad aproximada de 25 k/h y un peralte menor a 4%, por lo que, el radio diseñado de 20 m está por sobre los 15 m que indica el REDEVU (2009), y el desarrollo es de 24 m por sobre el mínimo exigido por dicho manual (10 m).
- Los perfiles transversales y longitudinales se encuentran en Anexo Digital del presente trabajo de título.

C. Cubicación de Obras y Montos de Inversión

En virtud de materializar los proyectos desarrollados, se realizó cubicación de las obras a ejecutar y se valoró en UF para obtener un presupuesto estimativo. Para dichos efectos, se consideró el valor de la UF de \$27.973,25. Además el presupuesto estimado considera los gastos generales, utilidades e impuestos que enfrentará la empresa constructora, en este sentido se consideró un 20% de Gastos Generales, un 12% de utilidades y un 19% de IVA. Con estas consideraciones, el presupuesto estimativo es el que se expone en el siguiente cuadro Resumen.

Tabla 27. Presupuesto Estimado Punto 1. Fuente: Elaboración conjunta con el Equipo de Diseño CGM.

ITEM	P. TOTAL (UF)	P. TOTAL (\$)
OBRAS COMPLEMENTARIAS	108,56	3.036.755
OBRAS DE PAVIMENTACION	12,46	348.567
CONTROL CALIDAD OBRAS DE PAVIMENTACION	39,69	1.110.258
OBRAS DE SEÑALIZACIÓN Y DEMARCACIÓN	223,54	6.253.109
SUB TOTAL	384,25	10.748.689
Gastos Generales	76,85	2.149.738
Utilidades	55,33	1.547.811
IVA	98,12	2.744.785
TOTAL, OBRAS	614,55	17.191.023
PROYECTO DE SEMÁFORO	970,76	27.155.416
PRESUPUESTO ESTIMATIVO	1.585,32	44.346.440

Tabla 28. Presupuesto Estimado Punto 2. Fuente: Elaboración conjunta con el Equipo de Diseño CGM.

ITEM	P. TOTAL (UF)	P. TOTAL (\$)
OBRAS COMPLEMENTARIAS	223,30	6.246.565
OBRAS DE PAVIMENTACION	595,39	16.655.113
CONTROL CALIDAD OBRAS DE PAVIMENTACION	158,18	4.424.837
OBRAS DE SEÑALIZACIÓN Y DEMARCACIÓN	593,45	16.600.713
SUB TOTAL	1.570,33	43.927.228
Gastos Generales	314,07	8.785.446
Utilidades	226,13	6.325.521
IVA	401,00	11.217.257
PRESUPUESTO ESTIMATIVO	2.511,52	70.255.451

D. Especificaciones Técnicas para la Ejecución de la Obra

En Anexo digital se encuentra las EE.TT para la ejecución de las Obras.

4.3.5. Modelación Escenario con Proyecto

A. Construcción del Modelo

La información estática fue obtenida en base a las características físicas y técnicas que proporcionan los Planos de Proyectos. La información dinámica se obtuvo, al igual que para la modelación del escenario actual, a partir de las Mediciones de Flujos Vehicular y Peatonal según el caso, y del Catastro de Transporte Público. Se mantuvo como tipología de vehículos a los Livianos, Taxis Colectivos, Taxi Buses y Pesados (representando Camiones y Buses Interurbanos). Lo anterior se realizó en base a los resultados de la composición vehicular observada. A continuación, se presenta los modelos para cada punto.

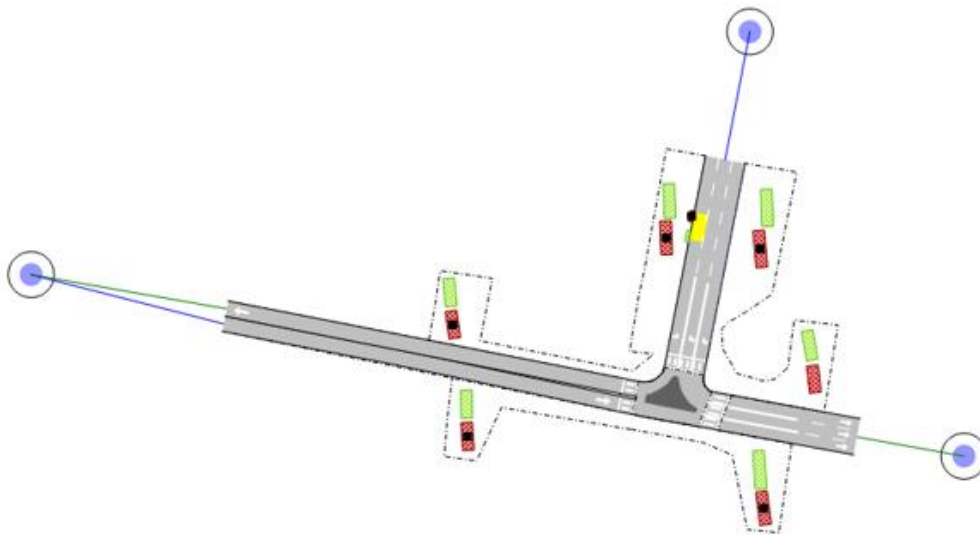


Figura 40. Modelo Escenario con Proyecto en AIMSUN NG del Punto 01. Fuente: Elaboración propia.

La demanda de tráfico fue ingresada al programa mediante Matriz OD (Origen – Destino) tanto para vehículos como peatones. En la figura se puede observar los centroides OD que representan las zonas de entrada y salida de flujos, tanto vehiculares (círculos) como peatonales (rectángulos verde-rojo). Los principales cambios se reflejan en la implementación de control semafórico, cuya determinación de ciclos y fases se logró por medio de un proceso iterativo en el cual se seleccionó los tiempos que no producían colas excedentes, es decir, se estableció un tiempo en verde en el cual, las colas que existían en el rojo anterior en calle Del Salvador se disipen, y se generaron nuevas Rutas Peatonales OD por medio del nuevo paso peatonal. Para estimar las proporciones porcentuales de las rutas (% de peatones que eligen

camino “corto” o camino “largo” manteniendo los mismos centroides) se definió por medio de los videos de las filmaciones continuas de flujos.

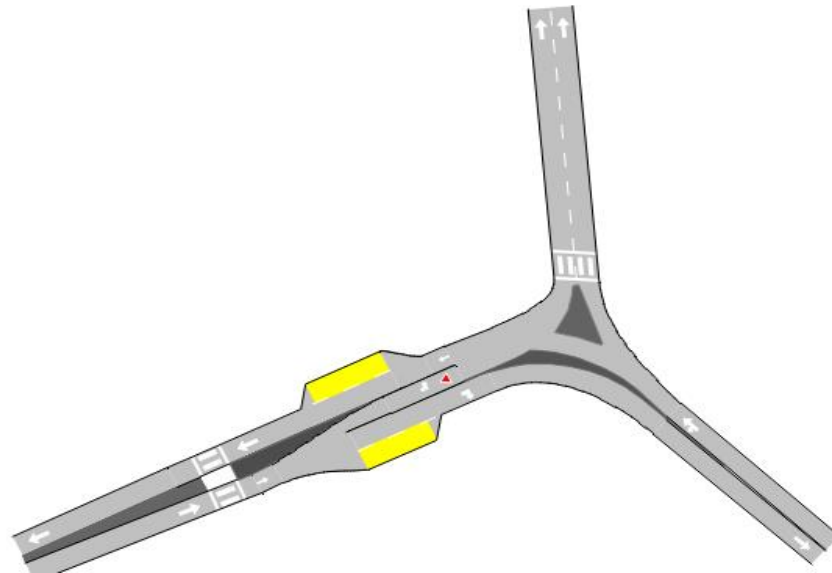


Figura 41. Modelo Escenario con Proyecto en AIMSUN NG del Punto 02. Fuente: Elaboración propia.

Los principales cambios incorporados en el punto es la unidireccionalidad de la rama norte, y la pista de viraje para acceder a ella. Los flujos que accedían a la intersección por medio de la rama norte se redireccionaron y con el modelo propuesto, ingresan a la intersección desde la rama suroriental (21 de Mayo). Esto es posible, porque calle Los Héroes intersecta con 21 de Mayo en dos puntos, donde uno de ellos es el estudiado. En la siguiente imagen, se observa la situación aguas arriba del punto.

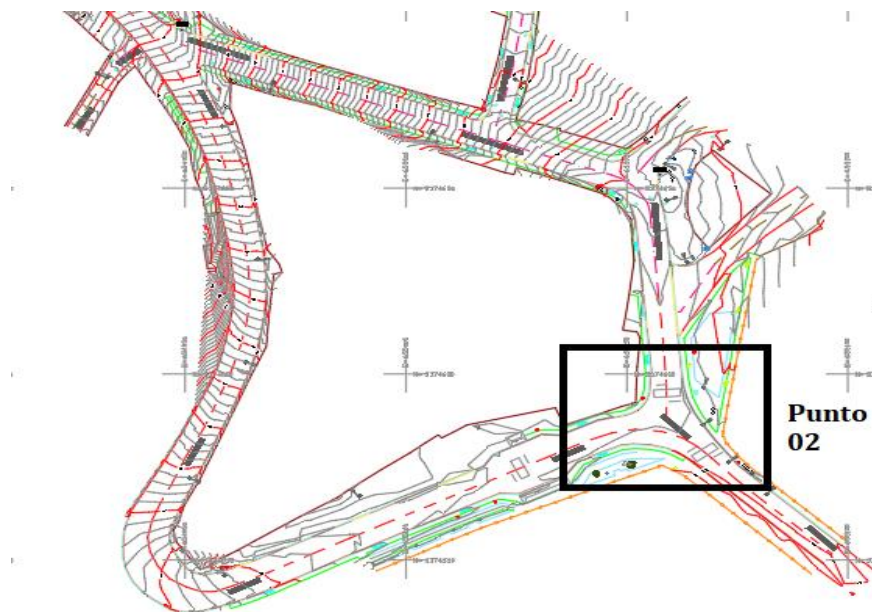


Figura 42. Topografía del entorno del Punto 02. Fuente: Equipo de Topografía CGM.

B. Análisis de Resultados

- Punto 01

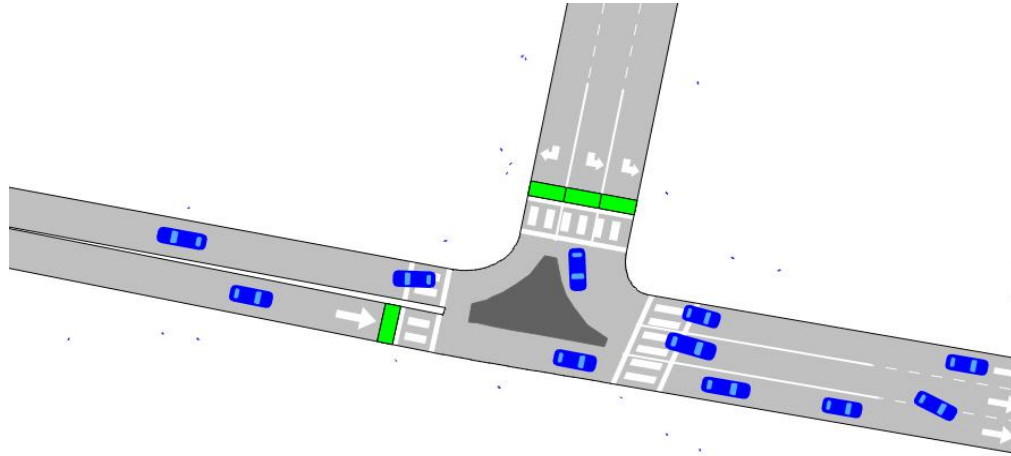


Figura 43. Captura en AIMSUN que muestra la situación con proyecto P01. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que ambos problemas planteados del punto se ven solucionados. Por un lado, los flujos dan muestra de una circulación más expedita y ordenada. Se ha descongestionado el punto con la medida implementada. Y, por otro lado, los autos no utilizan inapropiadamente las pistas adyacentes y el cambio se permite hasta aguas debajo de la intersección. En definitiva, la circulación de los autos ya no se ve interrumpida. La siguiente imagen muestra la operatividad de los peatones en la intersección con la implementación del control semafórico.

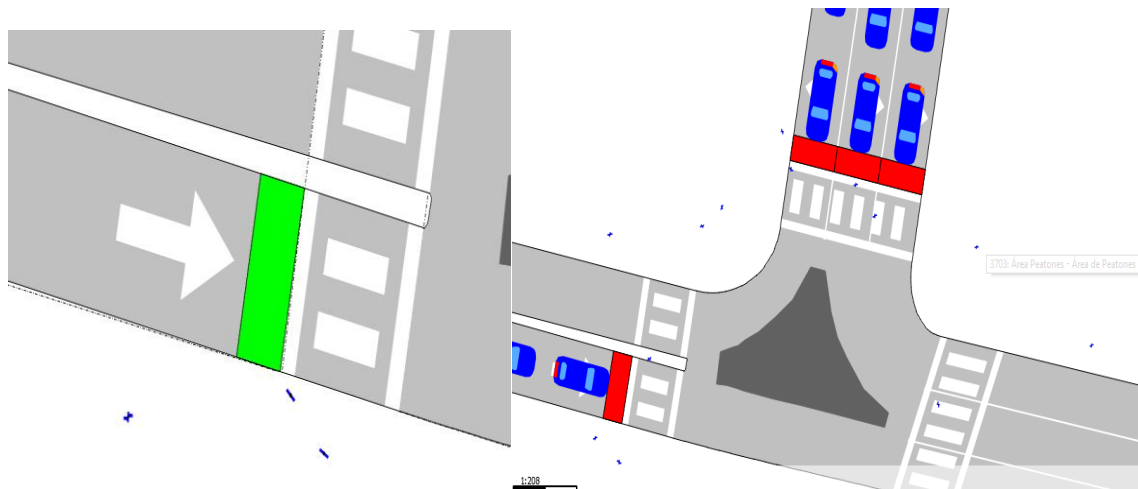


Figura 44. Capturas en AIMSUN que muestran la operatividad de los peatones del Punto 1. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente imagen se observa que las colas que se generan en el “todo rojo” se descargan completamente disminuyendo la congestión del punto.

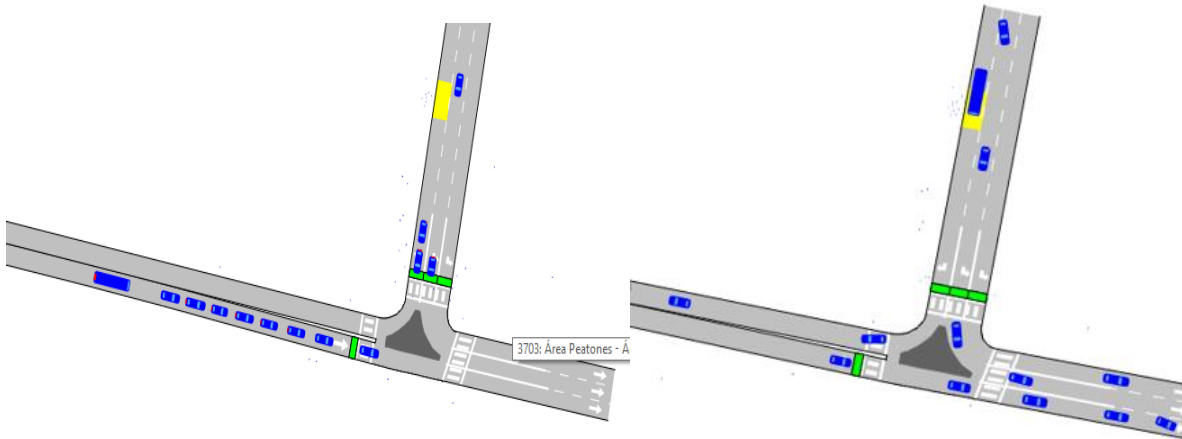


Figura 45. Capturas en AIMSUN que muestran la operatividad del Punto 1. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se observan ambos escenarios modelados con la finalidad de evidenciar los aportes que generan los proyectos en el punto en materia de congestión y conflictos vehiculares.

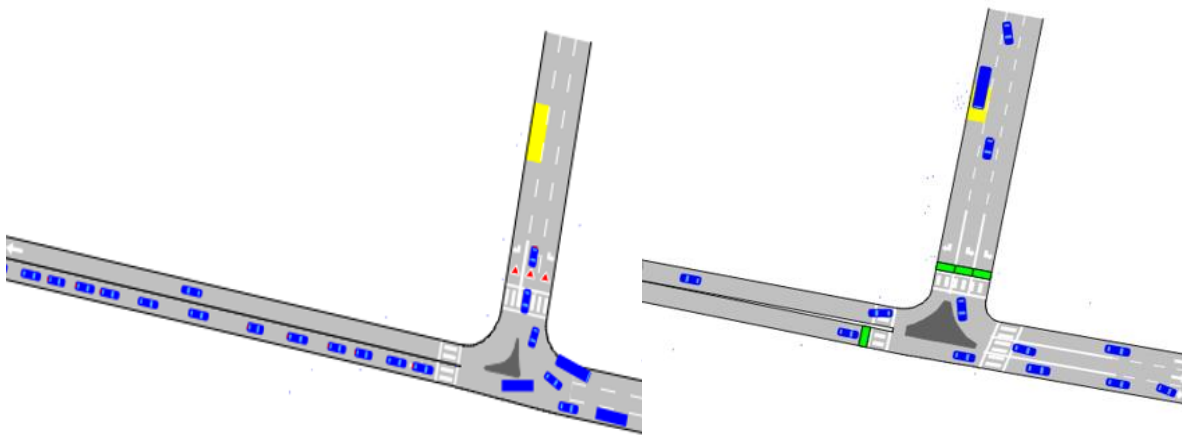


Figura 46. Situación Actual (izquierda) y Situación con Proyecto (derecha). Fuente: Elaboración propia.

- Punto 02

Con los Proyectos de Seguridad Vial y Pavimentación se observa el gran aporte que generan estos proyectos en materia de seguridad, canalización y ordenamiento del punto. La siguiente imagen evidencia lo antes mencionado.

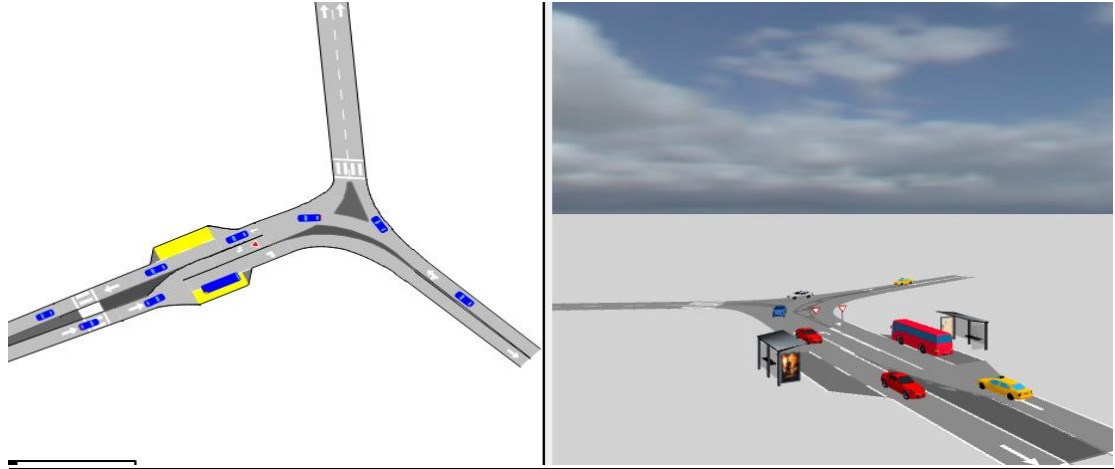


Figura 47. Situación con Proyecto capturado en 2D y 3D desde AIMSUN. Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, la problemática que gobierna al punto es el conflicto vehicular desde la perspectiva de la seguridad antes de la congestión. Con la pista de viraje y la unidireccionalidad de la rama superior los problemas operacionales se ven considerablemente disminuidos. Las siguientes imágenes muestran la nueva operación con la nueva pista de viraje y una comparación de ambos escenarios modelados.

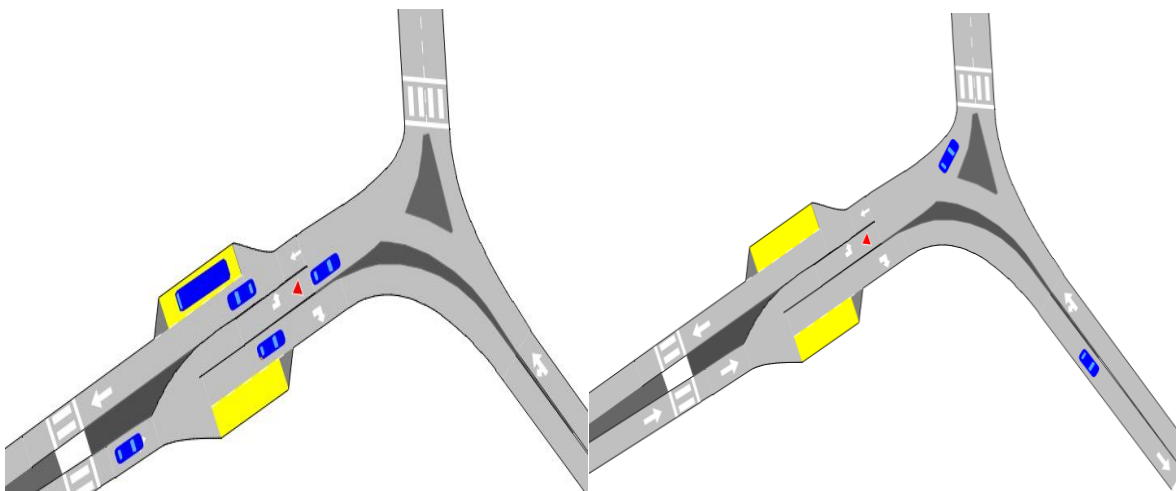


Figura 48. Situación con Proyecto que muestra la operación de la pista de viraje. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se observan ambos escenarios modelados con la finalidad de evidenciar los aportes que generan los proyectos en el punto en materia de congestión y conflictos vehiculares.

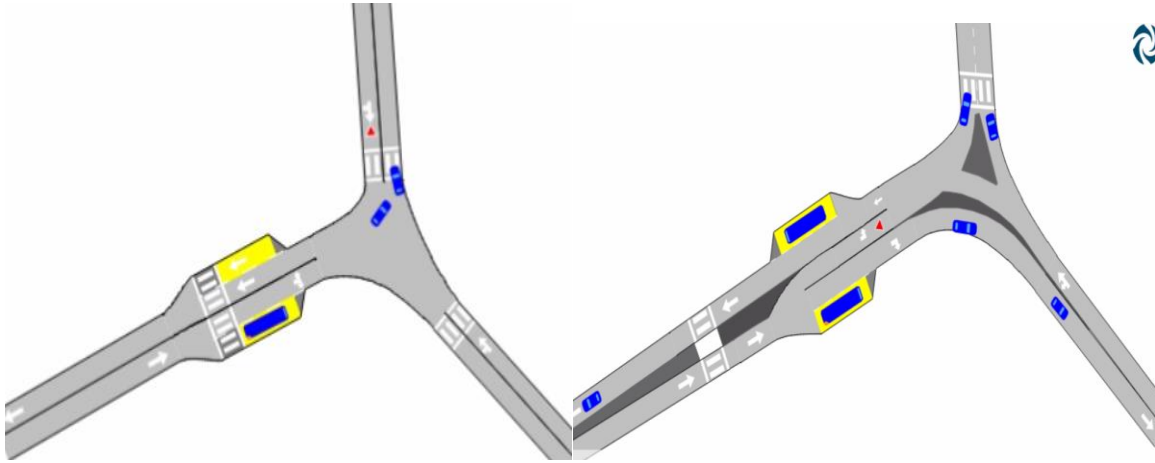


Figura 49. Situación Actual (izquierda) y Situación con Proyecto (derecha). Fuente: Elaboración propia.

Se corrobora que los diseños propuestos en los Proyectos para ambos puntos generan los resultados esperados.

La microsimulación permite reproducir el estado actual y evaluar las alternativas de solución a las problemáticas de un punto, siendo una herramienta confiable y muy valiosa para este tipo de Proyectos. Se observa que la microsimulación presta gran utilidad independiente si las medidas de mejoramiento apuntan a un cambio operacional que busca disminuir la congestión del punto por medio de un proyecto de semáforos o si apunta a un cambio operacional que busca disminuir conflictos vehiculares desde la perspectiva de la seguridad vial e infraestructura.

4.3.6. Revisión de Trayectorias del Escenario Actual

Con el objetivo de evaluar la funcionalidad de los diseños desde la perspectiva de la geometría, se procede a simular las trayectorias en el software comercial de AutoDESK Vehicle Tracking. Esta simulación se realiza sobre los planos de proyecto para ambos puntos estudiados. Los camiones seleccionados para realizar la simulación de trayectorias son los mismos elegidos cuando se evaluó la geometría de la situación actual basados en la composición del flujo vehicular observado (para el caso de Puerto Varas AASHTO 2011 SU-9, 2 ejes y para el caso de Calbuco, el camión AASHTO 2011 WB-12, 3 ejes). A continuación, se presenta los resultados para ambos puntos.

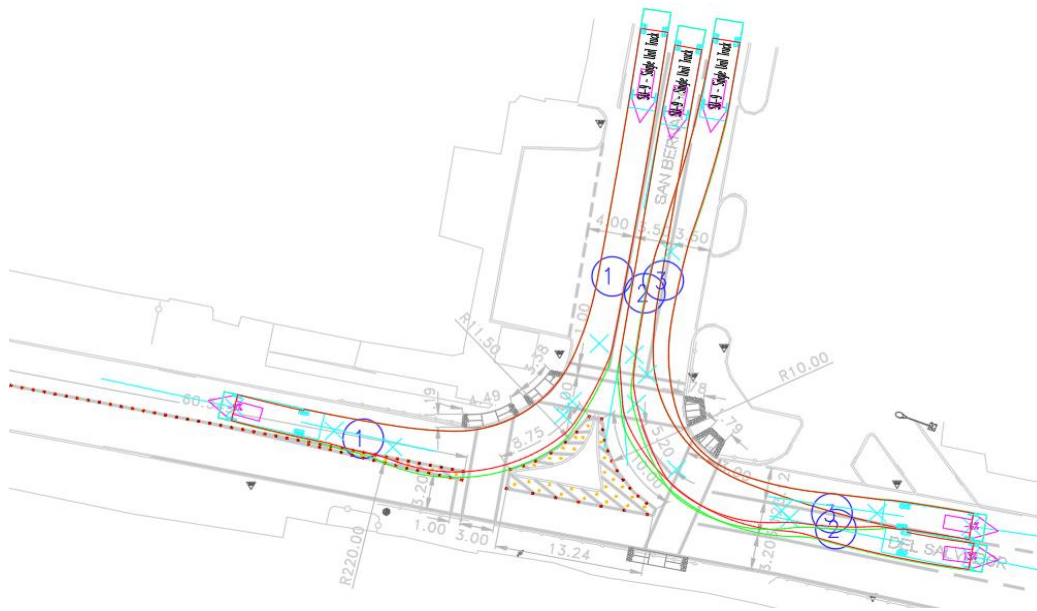


Figura 50. Simulación de Trayectorias en Vehicle Tracking AutoDESK. Fuente: Elaboración propia.

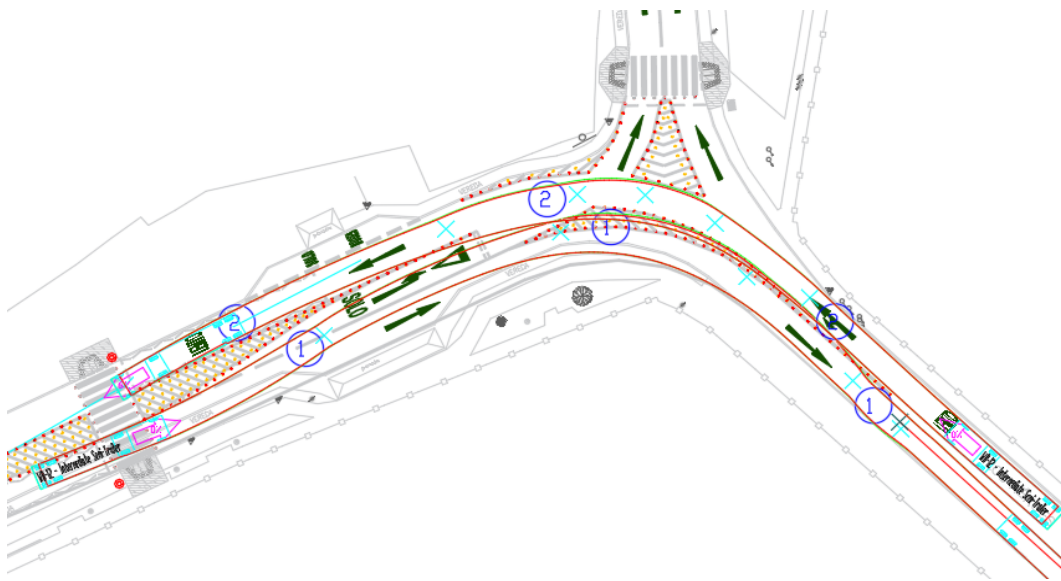


Figura 51. Simulación de Trayectorias en Vehicle Tracking AutoDESK. Fuente: Elaboración propia.

Los camiones circulan por las vías con algunas dificultades (En el Punto 1 toman ambas pistas y en el 2 parte de la pista de viraje), sin embargo, considerando velocidad baja para los camiones, la funcionalidad geométrica no se ve fuertemente afectada en ambos casos. No se evalúa la rama norte del punto 2 dado que, como se ve en la Figura 42, los autos que circulan por 21 de Mayo (rama surponiente) llegan al mismo punto que los autos que suben por Los Héroes, pero esta última tiene mayor pendiente por lo que los camiones suelen usar la pista simulada para salir de Calbuco.

5. AJUSTE METODOLÓGICO

A partir de los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología al caso de estudio, hay ciertos ajustes que podrían ser relevantes para entregar un producto más completo, tales como los que se mencionan a continuación.

- En la etapa de selección definitiva de puntos, en atención a las necesidades de cada uno y si la flexibilidad de las bases lo permite, se recomienda privilegiar la incorporación de puntos que proporcionen una suerte de eje cuando estos se encuentren relativamente cercanos entre sí, dando de esta manera, continuidad tanto a la topografía, como a las soluciones íntegras que se pretendan proponer y modelar.
- En el marco de las tareas iniciales, existió gran dificultad en la recopilación de antecedentes en los organismos indicados en la Metodología, especialmente en materia de transporte público. Determinar las líneas y rutas de los buses rurales suele ser bastante complejo. Por un lado, no siempre los organismos cuentan con este antecedente completo y actualizado, y por otro, clarificar los recorridos a partir de una base de datos muchas veces es una tarea bastante engorrosa, por lo que es conveniente, en la sección de mediciones de tránsito y cuando el transporte público sea importante en una intersección, añadir las mediciones de Frecuencia del Transporte Público. Contar con estas mediciones, permitiría agilizar el proceso de catastro de este, sirviendo de antecedente para el diagnóstico, y es un importante dato de entrada para la microsimulación.
- En la misma línea del Transporte Público, se debe incorporar un Catastro de Paraderos de Buses mediante fichas que permitan evaluar en terreno la existencia y el estado de estos, desde la perspectiva de la conservación, materialidad, geometría, informaciones, entre otros.
- En materia de microsimulación, resulta extenso y laborioso disgregar y reordenar la información a granel que proviene de las mediciones de flujos. Para efectos de facilitar el ingreso de la demanda de tráfico al programa, los datos de flujos en lugar de ser proporcionadas como una base de datos cuyos registros se ordenan y clasifican por movimiento, deberían ser agrupados directamente en tablas conforme al formato del simulador, es decir, en Matrices Origen-Destino. Para concretar lo anterior, debe existir previamente una planificación conjunta entre el equipo de medición de tránsito y el modelador.

6. CONCLUSIONES

En este estudio se logró documentar una Metodología para el diagnóstico y solución de puntos conflictivos situados en ambientes urbanos, en la cual se describe todas las actividades y estudios necesarios que permiten evaluar la situación actual existente en una intersección y de esta forma, abrir paso a la proposición de medidas de mejoramiento de bajo costo, en el marco de gestión de tránsito y que tienen como objetivo, mitigar los problemas operacionales y de infraestructura que en ella existen. Estos conflictos, son analizados desde el punto de vista vehicular para una correcta descripción de la circulación, pero teniendo presente que, estos vehículos carecen de autonomía, es decir, detrás de ellos, hay personas. Entonces, los aparentes conflictos vehiculares son realmente entre personas, razón por la cual, la conducta de los usuarios juega un rol fundamental. Con la presente memoria, se realiza un importante aporte metodológico para el tratamiento de puntos conflictivos urbanos, permitiendo que las soluciones se enfoquen con mayor nitidez a la problemática de cada punto.

En el estudio de caso, en el cual se aplicó la metodología, fue posible obtener los datos necesarios para abordar la congestión vehicular y peatonal existentes en las intersecciones de las vías Del Salvador con San Bernardo ubicada en Puerto Varas y de 21 de mayo con Los Héroes en Calbuco. Realizar las mediciones de flujo mediante filmaciones continuas permiten no sólo determinar los problemas de manera certera, sino que también dejan un registro de los conflictos de cada punto que sirve en todas las instancias del estudio, convirtiéndose en una herramienta adicional de gran utilidad para el diagnóstico y para la modelación. El levantamiento de información de campo y las mediciones de tránsito para la intersección de Puerto Varas dan luz de una importante congestión vehicular generada, además de por el vertiginoso crecimiento del parque vehicular, por el gran flujo peatonal que existe en el punto, que, al ser una intersección de prioridad con pasos peatonales habilitados en el cual no existe un control de fases para la circulación de estos, genera una gran congestión e importantes incrementos en los tiempos de viaje, causando estrés y frustración a los automovilistas, pudiendo derivar en accidentes. Al mismo tiempo, con la ayuda de la microsimulación se detectó, además de la congestión antes mencionada, importantes conflictos vehiculares debido al desorden de los flujos que se genera inmediatamente aguas abajo de la intersección producto de que cada una las tres pistas que existen en la vía de la rama suroriente representan una ruta distinta para diferentes sectores céntricos de la ciudad, provocando que los vehículos se entrelacen en la búsqueda de su destino pudiendo terminar en colisiones. El análisis de justificación de semáforos entregó como resultado la necesidad imperante de implementar un control de tráfico por medio de grupos semaforicos, resaltando el aporte del Proyecto de Semaforización el cual proporciona una alternativa de solución que busca disminuir los problemas operacionales beneficiando a los usuarios del entorno que actualmente se ven perjudicados con el mal funcionamiento del punto. La simulación en AIMSUN NG, permitió analizar distintas alternativas y optimizar los ciclos semaforicos de los vehículos. Por su parte el software comercial LEGION hizo lo mismo en relación con el control de la circulación peatonal. En tanto, en Calbuco, la microsimulación confirmó el diagnóstico de terreno, el cual da cuenta de un importante conflicto vehicular entre los usuarios de la vialidad debido a que,

todos los virajes se encuentran permitidos evidenciando la necesidad de ordenar y canalizar los flujos de manera de proporcionar seguridad a los usuarios. Acompañado de lo anterior, el Proyecto de Seguridad Vial realiza un importante aporte para mejorar los conflictos actuales y el Proyecto de Pavimentación, sobre los problemas de infraestructura que existe en el lugar.

Las herramientas de microsimulación de tráfico actualmente proporcionan un banco de pruebas experimentales convirtiéndose en un laboratorio informático para la evaluación del comportamiento vehicular y peatonal, ofreciendo un importante complemento para el diagnóstico y solución de puntos o redes de transporte urbano y en la valoración de medidas de gestión de tránsito. Es posible simular la interacción entre los peatones y el tráfico vehicular de manera razonable y útil. Luego del desarrollo del presente trabajo, se concluye una serie de ventajas y limitantes de la simulación.

Dentro de las principales ventajas en relación con su uso, destaca:

- Modelar el escenario actual presta una utilidad muy importante; es que, al ser una herramienta gráfica, es posible mostrarles a las autoridades los conflictos existentes en los puntos, generando una instancia clara para convencerlos de la necesidad de materializar proyectos y gestionar los recursos.
- Un proyecto de infraestructura muy oneroso puede ser evaluado a un costo insignificante por medio de esta herramienta.
- En intersecciones semaforizadas, es más rápido y visual encontrar el funcionamiento óptimo de los ciclos y fases que controlan los movimientos.
- Los simuladores pueden modelar escenarios proyectados permitiendo crear una suerte de laboratorio, en el cual se representa a nivel operacional el punto o red bajo análisis y, de esta manera experimentar nuevas estrategias de gestión de tránsito sin causar los impactos que generaría la implementación real de estas.

Dentro de las principales desventajas en relación con su uso, destaca:

- Los modeladores deben poseer manejo en muchas disciplinas, tales como ingeniería de transportes y vialidad, estadística, programación, etc. dado que, se debe tener un completo entendimiento del sistema, de lo contrario no es posible el desarrollo de una correcta simulación.
- Los modelos de simulación deben someterse a un delicado proceso de calibración para que su representación se ajuste correctamente a la realidad.
- En relación con la microsimulación de peatones, existen varios comportamientos que no son replicados fielmente por LEGION, tales como, la reducción de velocidad de manera gradual al acercarse al cruce peatonal, o ceder el paso a vehículos ante la inexistencia de un semáforo. Lo anterior podría atribuirse al hecho que existe poca especialización en ellos. La implementación de estas mejoras posibilitaría la obtención de resultados más precisos.
- El proceso de calibración de los microsimuladores es un proceso extenso y que consume una gran cantidad de tiempo debido a la gran cantidad de parámetros que requiere para el alto nivel de detalle de las simulaciones.

Con el estudio de caso se pudo observar el gran aporte de la microsimulación al desarrollo del proyecto y que una intersección, cuya solución gobernante se encuentra en el marco de seguridad vial más allá del nivel de congestión (Punto 02, Calbuco), se puede modelar perfectamente tanto la situación actual, permitiendo corroborar las problemáticas existentes y evidenciar otras, como la situación con proyecto evaluando los aportes que estos entregan al punto. Finalmente, se concluye que, como criterio respecto al uso de esta herramienta en proyectos urbanos de bajo costo en los cuales se debe aprovechar al máximo la geometría existente, la microsimulación debiese ser utilizada siempre que se evalúen soluciones a intersecciones operacionalmente complejas, independiente si la solución radica en seguridad vial o implementación de control semafórico.

7. RECOMENDACIONES

7.1. En el Marco del Uso de la Metodología

- Se recomienda emplear esta metodología en proyectos de análisis de puntos conflictivos en ambientes urbanos cuyos alcances de estos estudios contemplen intersecciones con problemas operacionales, de seguridad, infraestructura y movilidad que requieran ser resueltos con medidas de gestión de tránsito de baja inversión y rápida implementación. La metodología en estricto rigor también puede ser aplicada en proyectos de ingeniería mayor en los cuales se permitan cambios en la geometría existente, aumentos de la capacidad vial, expropiaciones, intervención de servicios u obras hidráulicas, entre otros, sin embargo, no sería suficiente y requeriría eventualmente de una mayor cantidad de estudios base para su correcto desarrollo, tales como, saneamiento, iluminación, proyecciones de tasas de crecimiento vehicular, análisis de capacidad vial y saturación, estudios más acabados de oferta y demanda de transporte, modelación no sólo en microsimuladores, sino también en softwares de simulación macroscópica de redes, demandas de viaje y de gestión, como Transyt o SATURN, estudios de zonificación, etc.
- Se recomienda estar en constante comunicación con las Autoridades Locales del sector de emplazamiento de los puntos, recoger sus opiniones y generar instancias en las cuales estos participen de manera activa en las propuestas de solución. Estos estudios deben estar siempre enfocados en materializar los proyectos, porque benefician directamente a los usuarios, por lo que es fundamental que los diseños sean acordes a los requerimientos de las autoridades.

- Se recomienda que las mediciones de flujos continuos sean realizadas por medio de filmaciones, lo anterior, porque la información que proporcionan las grabaciones es bastante eficiente para verificar que el conteo se realizó de manera adecuada o corroborar cualquier otro tipo de información. También es útil para visualizar problemáticas que muchas veces pasan inadvertidas en las inspecciones de campo, a su vez, para validar la modelación del escenario actual y para definir correctamente la ruta origen- destino de los peatones cuando se pretendan simular. Estos dispositivos pueden ser diseñados especialmente para pasar desapercibidos en terreno evitando actos vandálicos. No requiere de una cantidad importante de personal en terreno, basta con el instalador y un asistente, ya que es habitual que los transeúntes interrumpen a los medidores para consultar sobre la actividad, generando un importante deterioro en la calidad de los resultados.
- Si bien las soluciones propuestas dependen en gran medida de la experiencia del ingeniero, se recomienda que el uso de programas computacionales que permitan la modelación y simulación del funcionamiento de una intersección formen parte de los requerimientos necesarios para el desarrollo de estos estudios, dado que, tal como se observó en los puntos analizados, la microsimulación es una herramienta que presta gran utilidad tanto en el diagnóstico como en la solución de los problemas operacionales de un punto.
- A nivel de catastros, se sugiere incluir fichas que permitan sacar el máximo provecho a las visitas a terreno. Fichas como Listas de Chequeo en la cual se responde a una cantidad considerable de interrogantes en el contexto de seguridad vial, operatividad del punto, estado de la infraestructura, accesibilidad, etc. (Ver Anexo A.2).

7.2. En el Marco de Trabajos Futuros

- No está demás destacar que, cambios en la conducta de los usuarios podría ser suficiente para disminuir considerablemente la problemática de la congestión. Por ejemplo, los usuarios podrían realizar sus desplazamientos en horarios y sectores congestionados mediante transporte público o por medio de vehículos no motorizados. En definitiva, inducir cambios que impliquen el reemplazo transitorio del vehículo particular (Bull, 2003). El inconveniente es que estos cambios son de lenta implementación, por lo que pensar en medidas de gestión en el corto plazo, obliga a idear otras alternativas.
- Se recomienda evaluar en cada proyecto, cuando el transporte público sea importante en la realidad del punto, la incorporación de una metodología para medir la frecuencia de las líneas. Esta información muchas veces es difícil de conseguir por medio de antecedentes del sector.
- En materia de infraestructura, sería conveniente para los usuarios de las vías peatonales agregar un Proyecto de Ruta Accesible a la Metodología. La accesibilidad universal, se catastró y evaluó a nivel de dispositivos de rodado, y se propuso en el Proyecto de Pavimentación la incorporación de estos, sin embargo, la normativa de

accesibilidad universal contempla una mayor cantidad de elementos que van desde cambios en la acera incluyendo franja táctil en toda su extensión, hasta en el diseño bajo condiciones especiales de los paraderos, entre otros.

- El rápido crecimiento del tráfico urbano requiere métodos de control eficientes. Las principales aplicaciones del SIG (Sistema de Información Georreferenciados) radican en diseño de vías urbanas e interurbanas, análisis de datos de accidentes y volúmenes de tráfico, así como también en varias aplicaciones de planificación. Las herramientas SIG que pueden ser utilizadas para estudiar la congestión de tráfico están orientados a la visualización y consulta de datos espaciales (Al-enazi, 2019). A nivel de análisis local o global de la congestión, los sistemas SIG abren paso para la proposición de medidas de mitigación que sean realmente eficientes, dado que, permite la recolección de datos reales, el análisis de estos y la visualización de resultados (Chandra, Rao, Durai & Lakshmi, 2011). Por lo tanto, se sugiere el empleo de SIG en materia de proyectos, lo anterior prestaría importante utilidad antes y después de los resultados del estudio. Antes, en la fase de selección de los puntos podría ser importante para la completa identificación de estos (Baban, Iovanovici, Cosariu, & Prodan, 2019), y después, porque a la hora de materializar estos proyectos, siempre será útil poseer toda la información concentrada de un punto en una sola plataforma con un fácil acceso a esta.
- Las líneas futuras de la microsimulación, radica en el desarrollo de nuevas extensiones que permitan considerar medidas de control dinámico de redes semaforicas (Zúñiga, 2010). Otra tarea futura para los investigadores debe ser incorporar mejores métodos de calibración de naturaleza tal, que permita que conductas de los peatones sean representados de manera más apegada a la realidad, como cambios de velocidad graduales y otorgar preferencia vehicular en determinados instantes.

8. REFERENCIAS

Almonacid, O. Simulación digital de tráfico para intersecciones señalizadas por semáforo, bajo ambiente tridimensional. Tesis (Ingeniería Civil en Informática). Concepción, Chile. Universidad del Bío – Bío, Departamento de sistemas de información, 2007.

Álvarez, J. Microsimulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los softwares Vissim 8 y Viswalk 8. Memoria (Ingeniería Civil). Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2017.

Al-enazi, M. GIS driven traffic congestion evaluation and analysis Case study: Jeddah city. Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport, 2019.

Baban, G., Iovanovici, A., Cosariu, C., Prodan, L. Determination of the critical congestion point in urban traffic networks: a case study. Noviembre, 2017.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Informe Territorial. < <http://www.bcn.cl/siit> > [consulta: 15 agosto 2019].

Bull, A. Congestión de Tránsito. El problema y como enfrentarlo, Santiago, 2003. 196p.

Chandra, R., Rao, A. M., Durai, B. K., & Lakshmi, S. GIS Application in Traffic Congestion Management. Proc. of Int. Conf. on Recent Trends in Transportation, Environmental and Civil Engineering, 66-70, Enero, 2011.

CITRA, Consultores en Ingeniería de Transportes. Análisis de Puntos Congestionados en Copiapó. Santiago, 2018.

CONASET, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Manual de Señalización de Tránsito. Santiago, 2012.

CONASET, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Medidas Correctivas aplicadas a ciudades chilenas. Santiago, 2005.

Condori, A. y Lipa, J. Optimización del flujo vehicular en la intersección vial de la Av. Bolognesi con la Av. Basadre y Forero, ciudad de Tacna. Memoria (Ingeniería Civil). Tacna, Perú. Universidad Privada de Tacna, Facultad de Ingeniería, 2018.

Cueva, J. Síntesis de intersecciones, señalización y semáforos. Análisis de medidas para reducir la congestión. Memoria (Ingeniería Civil). Cuenca, Ecuador. Universidad de Cuenca. 2012.

Delpiano, R. Modelo microscópico de tráfico en dos dimensiones basado en fuerzas sociales. Tesis (Magíster en Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería, 2015.
Dipika, G. Simulation of Pedestrian at Intersection in Urban Congested Area. International Journal of Research in Engineering and Technology, 03(05), 40-44, Mayo, 2014.

Dowling, R., Holland, J., & Huang, A. Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software, California, 2002. 113p.

Esquivel, W. Elementos de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas. Memoria (Ingeniería Civil). Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2011.

Gibson, J. Teoría de flujos vehiculares. Apuntes de clase. Universidad de Chile, División Ingeniería de Transporte. Agosto, 2001.

Hollander, Y., & Liu, R. The principles of calibrating traffic microsimulation models. Institute for Transport Studies, University of Leeds, 347-362, Enero, 2008.

Intendencia Región de Los Lagos, Bases de Licitación del Estudio Análisis de Puntos Congestionados en Comunas de la Región de Los Lagos. Puerto Montt, Octubre, 2018.

Ipus, O., Chaves, S., & Riascos, M. Evaluación técnica mediante procesos de microsimulación en tres intersecciones en Montería, Córdoba. Julio, 2016.

Johansson, E. Alexandersson, S. Pedestrians in Microscopic Traffic Simulation, Comparison Between Software Viswalk and Legion For Aimsun. Master's Thesis. Gothenburg, Sweden. Chalmers University Of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, 2013.

MIDEPLAN, Ministerio de Planificación y Cooperación. Metodología Simplificada de Preparación y Evaluación de Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano (MANVU). Santiago, 1992.

MINVU, Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, Santiago, 2008.

MINVU, Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana. Santiago, 2009.

Miramontes, E. Videña, O. Rodríguez, A. Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. Revista Cultura Científica y Tecnológica, 12(56), 25-32, Agosto, 2015.

Molina, P. Implementación en AIMSUN de modelo de comportamiento vehicular en intersecciones semaforizadas. Tesis (Maestría en Ingeniería de Vías Terrestres y Movilidad). Querétaro, México. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, 2018.

Montenegro, J., Lozano, A. Simulación microscópica del tránsito. 13th WCTR, 15-18, Julio, 2013.
Monterosso, L. Análisis de la funcionalidad de una carretera 2+1 mediante microsimulación. Tesis (Máster en Transporte, Territorio y Urbanismo). Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2015.

Moyano, C. Estimación de la contaminación del aire generada por efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. 10 de agosto de la ciudad de Cuenca-Ecuador, usando la herramienta de microsimulación de tránsito Aimsun 8.1. Tesis (Magister en tránsito, transporte y seguridad vial). Cuenca, Ecuador. Universidad del Azuay, Departamento de Postgrados, 2017.

OGUC, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Normativa Accesibilidad Universal. Santiago, 2016.

Ortega, M. Estudio de la optimalidad de programaciones de semáforos utilizando técnicas de microsimulación. Memoria (Ingeniería Civil). Concepción, Chile. Universidad del Bío - Bío, Departamento Ingeniería Civil y Ambiental, 2014.

Panwai, S., Día, H. Comparative Evaluation of Microscopic Car-Following Behavior. IEEE Transaction on Intelligent Transportation System, 06(03), 314-325, Septiembre, 2005.

Priya, H., Shankar, R., Prasad, K., & Reddy, T. Evaluation of Area Traffic Management Measures Using Microscopic Simulation Model. 2nd Conference of Transportation Research Group of India, 815-824, 2013.

Ramírez, G. Evaluación y alternativas de solución para el problema de congestión vehicular presente en la glorieta de Menga, intersección Av. 6N con calle 70. Memoria (Ingeniería Civil). Cali, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, 2018.

Ramírez, L., & Sánchez, J. Elementos para el modelamiento de tráfico vehicular en América Latina. Research Group TIGUM, 33-40, 2018.

Rodríguez, D. Modelo para microsimulación de tráfico vehicular y peatonal utilizando Cuda. Tesis (Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación). Bogotá, Colombia. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación, 2012.

Rodríguez, N., Osiris, J. & Rodríguez, A. Evaluación del congestionamiento vehicular en intersecciones viales. Revista Cultura Científica y Tecnológica, 12(56), 41-50, Agosto, 2015.

Salvador, I., Robusté, F. Principios para la Microsimulación del tráfico. Barcelona, España. Universidad Polit cnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2000.

SECTRA, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Ministerio de Desarrollo Social. Manual de Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana. Santiago, 2013.

Solano, A., Terrones, D. y Burgos, T. Aplicación de la simulación matemática empleando el software Vissim como herramienta en el control de tráfico en la intersección de las Av. César Vallejo con José María Eugeren, Distrito de Trujillo - La Libertad. Memoria (Ingeniería Civil). Trujillo, Perú. Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, 2017.

Stefoni, B. Microsimulación de la operación de vehículos de emergencia. Tesis (Magíster Ingeniería Civil). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Física y Matemáticas, 2018.

Thenoux, G., Lastra, S. Aplicación y calibración del Highway Capacity Manual versión 2000 (HCM 2000) en una autopista chilena. Revista Ingeniería de Construcción, 01(19), 29-36, Abril, 2004.

Valladares, A. Comparación de un enfoque macroscópico y otro microscópico al estimar las demoras por la congestión urbana. Memoria (Ingeniero Civil). Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, 2016.

Vallati, M., Magazzeni, D., Schutter, B., Chrupa, L., & McCluskey, T. L. Efficient Macroscopic Urban Traffic Models for Reducing Congestion: A PDDL+ Planning Approach. Proceedings of the Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-16), 3188-3194, 2016.

VIALIDAD, Ministerio de Obras Públicas. Manual de Carreteras, Volumen 2. Santiago, 2019.

Zúniga, V. Uso de Herramientas de Microsimulación para la definición de Estrategias de Control de Tránsito para la ciudad de Santiago. Memoria (Ingeniero Civil). Santiago. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, 2010.

9. ANEXO A – METODOLOGÍA

9.1. A.1 – Tabla Problema - Solución

Las medidas a proponer deben responder a las siguientes opciones de solución.

- Señalización y Demarcación.
- Instalación de tachas y tachones.
- Instalación de vallas peatonales.
- Relocalización de paraderos.
- Gestión de Estacionamientos.
- Medidas calmantes de tráfico.
- Facilidades explícitas para peatones.
- Mejoramiento de veredas y rebaje de soleras.
- Proyectos de conservación de pavimentos.
- Proyecto de semáforos.
- Ajustes de programación de semáforos.
- Viraje con luz roja.
- Generación o eliminación de pistas de viraje.
- Mejoramientos de radios de giro.
- Restricción de circulación por tipos de vehículos.
- Prohibiciones de movimientos determinados.
- Cambios en sentidos de tránsito.
- Vías exclusivas y facilidades para el transporte público.
- Propuesta de cambios locales de rutas de servicio de transporte público.

Cada intersección posee una realidad diferente, ninguna es exactamente igual a otra, tanto geométrica como operacionalmente, por lo que las soluciones de puntos conflictivos serán siempre de carácter personalizado. Es poco probable que repetir las medidas implementadas en un punto, genere el mismo impacto en otro, ya que las soluciones responden a problemáticas de distinta índole, ya sea infraestructura, operatividad, congestión, seguridad, etc., razón por la cual, no es efectivo generar una categorización o clasificación de medidas en base a un árbol de decisión para adoptarlas, sino que es necesario conocer la realidad de la intersección y luego proponer medidas idóneas en base al diagnóstico integral del punto. Ahora si bien, para efectos de análisis preliminar, se analiza cualitativamente las problemáticas de los puntos, posiblemente se pueda establecer una cierta relación de causa-efecto a nivel esquemático y puntual, y con ello, relacionar posibles soluciones a determinados problemas, como se puede observar en la siguiente tabla (CONASET, 2005).

Tabla Anexo 1. Problema - Posible Solución. Fuente: CONASET, Medidas Correctivas de bajo costo aplicadas a ciudades chilenas, con ciertas modificaciones.

Problemática	Posibles Medidas
Falta de percepción de la delineación de la vía.	<ul style="list-style-type: none"> • Demarcación de bordes de la calzada (se puede reforzar con tachas). • Pintado amarillo de soleras (se puede reforzar con tachas). • Topes delineadores (no se recomiendan plásticos). • Señales chevron (en curvas). • Barreras de contención. • Pintados de franjas reflectantes en postes de alumbrado.
Falta de canalización o encauzamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Demarcaciones de pistas, de ejes, de franjas de estacionamiento, de flechas de dirección. • Islas canalizadoras (sólidas o fantasmas). Las islas siempre se marcan naturalmente en la calzada con el paso del tráfico. • Medianas (para flujos opuestos) y bandejones. • Señales informativas.
Visibilidad deficiente (intersección de prioridad).	<ul style="list-style-type: none"> • Extensión de acera. • Remoción de obstáculos. • Espejos de tráfico. • Cambio de prioridad.
Exceso de Velocidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Resaltos (en vías menores para reducir velocidad a 30 km/hr). • Cojines reductores de velocidad. • Plataformas viales. • Angostamiento o estrangulamiento de vías. • Bandas alertadoras. • Demarcaciones transversales. • Elementos que hagan percibir al conductor cambio en las condiciones de la vía o entorno (topes, pintar postes, pintura roja sobre la calzada, etc.).
Conflictos vehiculares.	<ul style="list-style-type: none"> • Islas canalizadoras para virajes. • Islas medianas para conflictos entre sentidos.
Conflictos por múltiples virajes hacia la izquierda (intersecciones de prioridad).	<ul style="list-style-type: none"> • Mini- rotonda o rotonda. • Prohibición de algunos virajes/reasignar tráfico.

	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el sentido del tránsito.
Conflictos por virajes múltiples hacia la izquierda (intersecciones semaforizadas).	<ul style="list-style-type: none"> • Prohibición de algunos virajes/reasignar tráfico • Aumento de tiempos en el semáforo para segregación de todos los movimientos (tres, cuatro tiempos) • Rotonda o mini-rotonda. • Cambiar el sentido de tránsito.
Conflictos por accesos o paradas de transporte público mal ubicados.	<ul style="list-style-type: none"> • Reubicación o eliminación de accesos. • Reubicación de paradas.
Notoriedad deficiente (intersecciones).	<ul style="list-style-type: none"> • Soleras pintadas amarillas. • Topes delineadores. • Islas.
Falta de facilidades seguras para los peatones.	<ul style="list-style-type: none"> • Canalización de peatones con vallas peatonales hacia lugares más seguros. • Incentivar cruce de peatones en dos etapas y en lugares más seguros. • Extensiones de aceras para evitar que peatones crucen entre vehículos estacionados. • Desplazamiento de cruces peatonales desde las esquinas donde hay virajes involucrados. • Escalonar cruce donde existe o es posible proveer isla mediana.
Falta de facilidades seguras para los peatones (intersecciones semaforizadas).	<ul style="list-style-type: none"> • Proveer cabezales peatonales (si no existen). • Incorporar fases peatonales; o alargarlas si estas existen (reprogramación de semáforos). • Fase "Todo Rojo" para vehículos en donde haya altos flujos peatonales (reprogramación de semáforos). • Partidas demoradas para vehículos (reprogramación de semáforos). • Desplazamiento de cruces peatonales donde hay virajes involucrados. • Escalonar cruce donde existe o es posible proveer isla mediana.
Conflictos entre vehículos que viran y peatones que cruzan.	<ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento de los cruces peatonales desde las esquinas en no menos de seis metros (cinco excepcionalmente). • Vallas peatonales para canalizar los movimientos.
Conflictos entre vehículos que esperan y peatones que cruzan.	<ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento de los cruces peatonales desde la (en intersección de prioridad) esquina (o línea de

	detención) no menos de seis metros (cinco, excepcionalmente). <ul style="list-style-type: none"> • Vallas peatonales para canalizar los movimientos
Colisiones con elementos en la vía	<ul style="list-style-type: none"> • Barreras de contención. • Mejorar iluminación. • Resaltar elementos con pintura retro reflectante.

9.2. A.2 – Lista de Chequeo

A continuación, se presenta un ejemplo de Lista de Chequeo con la finalidad de optimizar el levantamiento de información en terreno.

Tabla Anexo 2. Lista de Chequeo. Fuente: CONASET, Medidas Correctivas de bajo costo aplicadas a ciudades chilenas (modificado).

Interrogantes	SI	NO	NA
1. Es el uso del suelo (actividades) a lo largo de la vía:			
- ¿Predominantemente comercial?	SI	NO	NA
- ¿Predominantemente residencial?	SI	NO	NA
- ¿Residencial y comercial?	SI	NO	NA
- ¿Existen establecimientos educativos?	SI	NO	NA
2. ¿Están las aceras separadas de la vía con soleras u otro elemento (Ej. franja verde, dique de drenaje)?	SI	NO	NA
3. La superficie de las aceras ¿está bien mantenida?	SI	NO	NA
4. ¿Se instalan puestos de feria o vendedores callejeros que fuercen a los peatones a transitar por la calzada?	SI	NO	NA

5. En las aceras, ¿existen árboles u otro tipo de vegetación, postes u otro mobiliario vial o urbano (quioscos, letreros publicitarios, etc.) cuya ubicación obstaculice el tránsito de peatones?	SI	NO	NA
6. ¿Se estacionan vehículos en las aceras?	SI	NO	NA
7. ¿Existen facilidades peatonales para cruzar? <i>Facilidades peatonales incluyen: cruces cebra, cruces peatonales semaforizadas y asociados a semáforos, islas peatonales, pasarelas o pasos bajo nivel</i>	SI	NO	NA
8. ¿Cruzan los peatones indiscriminadamente en cualquier lugar?	SI	NO	NA
9. ¿Se estacionan vehículos en la calzada?	SI	NO	NA
10. Si existen vehículos estacionados en la calzada, ¿cruzan los peatones entremedios de los vehículos?	SI	NO	NA
11. ¿Existe alguna mediana o islas peatonales que ayuden a los peatones a cruzar en dos etapas?	SI	NO	NA
12. Esta vía clasificada como:			
- ¿urbana?	SI	NO	NA
- ¿interurbana?	SI	NO	NA

13. Si existen señalizaciones de advertencia: - ¿Están ubicadas con la debida anticipación para dar tiempo al conductor de tomar precauciones? - ¿Son estas señales y/o demarcaciones reiterativas? - ¿Se aprecian estas señales de día? - ¿Se aprecian estas señales de noche?	SI SI SI SI	NO NO NO NO	NA NA NA NA
14. Demarcaciones: - si es vía de doble sentido ¿está demarcado el eje? - si existe más de una pista por sentido ¿están demarcadas las pistas?	SI SI	NO NO	NA NA
15. Están estas intersecciones reguladas por: - ¿Semáforos? - ¿Semáforos y también por prioridad? - ¿Solo prioridad?	SI SI SI	NO NO NO	NA NA NA
16. ¿Existen paradas definidas de transporte público?	SI	NO	NA
17. Si existen paradas definidas, - ¿Están en la calzada? - ¿Están fuera de la calzada en bahías? - ¿Están justo antes o cerca de un cruce peatonal? - Si existen intersecciones en el tramo ¿Están las paradas justo antes de la intersección?	SI SI SI SI	NO NO NO NO	NA NA NA NA

18. ¿Se estacionan vehículos a los costados de la calzada?	SI	NO	NA
19. ¿Existe señal Ceda el paso o Pare?	SI	NO	NA
20. Si existe señal Ceda el paso o Pare: - ¿Tiene el tamaño correcto? - ¿Es visible con la debida anticipación? - ¿Está la señal tapada ya sea por follaje de árboles, otra señal, material publicitario, poste, vehículo grande estacionado o detenido, u otro elemento?	SI SI SI	NO NO NO	NA NA NA
21. ¿Existe demarcación Pare / Ceda el paso en la (s) vía (s) menor (es)?	SI	NO	NA
22. Si existe demarcación Ceda el paso o Pare; - ¿es visible?	SI	NO	NA
23. Si las vías son de doble sentido ¿están demarcados los ejes?	SI	NO	NA
24. Si en la vía principal existen más de dos pistas por sentido: - ¿Están demarcadas las pistas? - ¿Es esta demarcación continua en su proximidad a la intersección? - ¿Hay demarcaciones de flechas de dirección?	SI SI SI	NO NO NO	NA NA NA
25. ¿Se encuentra la intersección en una curva o cima?	SI	NO	NA
26. Si está en una curva o cima,			

- ¿Existen señales de precaución?	SI	NO	NA
- En la vía mayor, ¿existen señales o demarcaciones de reducción de velocidad?	SI	NO	NA
27. ¿Ocurren los accidentes cuando los flujos de tránsito en la vía principal son altos?	SI	NO	NA
28. ¿Circulan los vehículos de la vía principal a exceso de velocidad?	SI	NO	NA
29. Existen virajes hacia la izquierda desde la vía menor que produzcan accidentes o riesgos	SI	NO	NA
30. Existen vehículos de la vía menor que cruzan la vía principal provocando accidentes o riesgos	SI	NO	NA
31. ¿Se observa falta de brechas para los vehículos de la vía menor?	SI	NO	NA
32. ¿Los conductores de la vía menor se arriesgan usando brechas pequeñas?	SI	NO	NA
33. ¿Existen virajes hacia la izquierda desde la vía principal?	SI	NO	NA
34. Si existen virajes hacia la izquierda desde la vía principal, están permitidos	SI	NO	NA
35. ¿Existen cruces cebra en la vía principal?	SI	NO	NA
36. En relación con lo anterior, existen conflictos entre peatones que cruzan y vehículos que viran	SI	NO	NA

37. Si la vía principal tiene una mediana central, - ¿Es el espacio central lo suficientemente ancho como para que los vehículos que van a virar hacia la izquierda desde esta vía se resguarden? - ¿Es el espacio lo suficiente ancho como para que vehículos que van a virar hacia la izquierda desde la vía menor se resguarden?	SI	NO	NA
	SI	NO	NA

10. ANEXO B – Aplicación Caso Estudio

10.1. B.1 – Diagnóstico

10.1.1 Estudios Base

A. Recopilación de Antecedentes y Revisión Metodológica

- Revisión de Antecedentes

A continuación, se presenta un resumen de los resultados de esta actividad.

Tabla Anexo 3. Resumen de los resultados de la solicitud de Antecedentes. Fuente: Elaboración propia.

Organismo	Antecedentes Solicitados	Resultado
Municipalidad de Puerto Varas.	1. Plan Regulador Comunal Vigente. 2. Días y ubicación de ferias libres.	1. Se descargó de la página web de la Municipalidad.

	<ol style="list-style-type: none"> 3. Programación y Periodización de los semáforos que sean parte del estudio. 4. Antecedentes generales de los semáforos que sean parte del estudio (mantención, controladores, planos, administración, etc.). 5. Ordenanzas municipales que restrinjan la circulación de camiones. 6. Planos de la ciudad. 7. Proyectos viales en ejecución, pronta ejecución o en estudio. 8. Planos y Especificaciones Técnicas de refugio para paradero tipo. 	<ol style="list-style-type: none"> 2. Se recibió esta información, pero no es relevante para el punto a estudiar. 3. Se recibió esta información, pero no es relevante para el punto a estudiar. 4. Se recibió esta información, pero no es relevante para el punto a estudiar. 5. Se recibió esta información, pero no es relevante para el punto a estudiar. 6. No se recibió esta información. 7. Se recibió esta información, pero no es relevante para el punto a estudiar. 8. Se recibió esta información.
Municipalidad de Calbuco	<ol style="list-style-type: none"> 1. Plan Regulador Comunal Vigente. 2. Días y ubicación de ferias libres. 3. Programación y Periodización de los semáforos que sean parte del estudio. 4. Antecedentes generales de los semáforos que sean parte del estudio (mantención, controladores, planos, administración, etc.). 5. Ordenanzas municipales que restrinjan la circulación de camiones. 6. Planos de la ciudad. 7. Proyectos viales en ejecución, pronta ejecución o en estudio. 8. Planos y Especificaciones Técnicas de refugio para paradero tipo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se recibió esta información por parte de la Municipalidad de Calbuco. 2. Se recibió esta información, pero no es relevante para el punto a estudiar. 3. No hay semáforos en el punto a estudiar. 4. No hay semáforos en el punto a estudiar. 5. No existen ordenanzas municipales que restrinjan la circulación de camiones. 6. No se recibió esta información. 7. No se recibió esta información. 8. No se recibió esta información.
SERVIU	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proyectos que contengan información de Mecánica de Suelos realizados en la ciudad. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se recibió esta información, pero el contenido es insuficiente. 2. Se recibió esta información. No hay proyectos relevantes en la

	2. Proyectos viales en ejecución, pronta ejecución o en estudio.	zona de los dos puntos objeto de análisis.
Vialidad - MOP	<ol style="list-style-type: none"> 1. Listado de caminos de tuición MOP en la ciudad objeto de estudio. 2. Proyectos que contengan información de Mecánica de Suelos realizados en la ciudad. 3. Proyectos viales en ejecución, pronta ejecución o en estudio. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se recibió esta información. 2. Se recibió esta información. El estudio de suelos recibido es de una zona cercana a la ciudad de Puerto Varas, pero lejana del área de estudio. 3. Se recibió esta información. No hay proyectos viales en el entorno del punto a estudiar.
CONASET	1. Accidentes de tránsito ocurridos en los últimos 5 años en la zona de estudio.	1. Se recibió esta información, pero no fue suficiente.
Carabineros de Chile	1. Accidentes de tránsito ocurridos en los últimos 5 años en la zona de estudio.	1. Se recibió esta información.
SEREMITT	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rutas de Transporte Público para las ciudades objeto de estudio. 2. Red Vial Básica de las ciudades objeto de estudio 3. Estudios de Impacto sobre el Sistema de Transporte Urbano (EISTU) realizados en los últimos años en las ciudades objeto de estudio. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se recibió esta información. 2. No existe Red Vial Básica en las comunas involucradas en el estudio. 3. Se recibió esta información. Los EISTU realizados en los últimos años en las comunas de estudio, no ofrecen información relativa al entorno de los puntos.

En general, estos documentos fueron solicitados por distintos medios. En primera instancia telefónico, seguido por correo electrónico, y en tercer lugar por la plataforma Portal de Transparencia. Lo anterior, porque hubo organismos de los cuales no se obtuvo respuesta en las dos primeras instancias.

B. Estudios de Suelos

- Levantamiento Topográfico

Algunos tipos de levantamiento se describen a continuación (MESPIVU, 2013).

- Levantamientos distanciométricos
- Levantamientos fotogramétricos.
- Levantamientos con GPS.
- Levantamientos mediante laser aerotransportado (LIDAR).

Estas coordenadas deben corresponder a:

- Coordenadas de los vértices de topografía.
- Coordenadas de los elementos físicos.
- Coordenadas de las alineaciones viales de borde.

Los trabajos topográficos se ubican en la Ciudad de Puerto Varas y Calbuco, Región de los Lagos y cuya finalidad es obtener un modelo de la situación actual del área de estudio. Para la referenciación se materializó una línea base GPS (Sistema de Posicionamiento Global), y así contar con un Sistema de Transporte de Coordenadas. A partir de esta línea base se vincularon los diferentes puntos usados para las mediciones de las zonas en estudio. Los vértices fueron consolidados mediante pernos HILTI, los cuáles fueron empotrados en soleras. Todos los trabajos de topografía están georreferenciados en coordenadas UTM. Los puntos de enlace fueron posicionados con GPS, utilizando como punto base, la red nacional de triangulación definidos por el Instituto Geográfico Militar. El proceso de dibujo se realizó en forma automatizada desde la toma de puntos en terreno hasta la creación del dibujo final. Para ello se comunicaron los datos de la estación total al computador, luego se importaron al software de procesamiento los datos siguientes: número de punto, coordenada norte, coordenada este, cota y descripción. Luego esta planilla, es importada al Software AUTOCAD CIVIL 3D, generando una malla de puntos que una vez unido se convierte en el producto final (plano topográfico). En resumen, la metodología empleada por el equipo de Topografía para llevar a cabo esta actividad corresponde al levantamiento con GPS descrita en el Manual de Carreteras Capítulo 2.300 (2018). Esta actividad es indispensable para el desarrollo del estudio, en ella, se basan los catastros, se determinan las condicionantes urbanas, se elabora el diagnóstico y diseños de los proyectos. A continuación, se presenta los resultados para ambos puntos estudiados.



Figura Anexo 1. Levantamiento planimétrico del Punto 01, Puerto Varas. Fuente: Equipo de Topografía CGM.



Figura Anexo 2. Levantamiento planimétrico del Punto 02, Calbuco. Fuente: Equipo de Topografía CGM.

C. Mediciones de Tránsito

- Mediciones continuas de flujo vehicular

A continuación, los diagramas de movimiento vehicular en los cuales se basó el conteo.

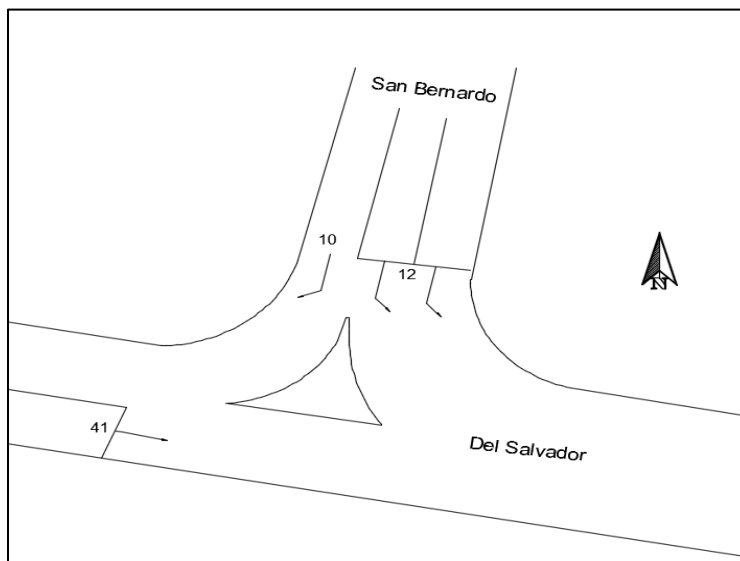


Figura Anexo 3. Diagrama de Movimientos Vehiculares Punto 1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla Anexo 4. P01 - Flujos horarios por Movimiento [veq/h]. Fuente: Elaboración Conjunta con la Unidad de Tránsito CGM.

Hora\ Mov.	10	12	41	Total
7-8	76	244	415	738
8-9	137	366	595	1.070
9-10	134	334	453	901
10-11	145	352	452	896
11-12	184	300	488	889
12-13	176	399	513	1.009
13-14	130	328	501	910
14-15	119	287	406	781
15-16	136	337	522	951
16-17	136	334	561	984
17-18	148	374	521	972
18-19	131	429	488	995
19-20	118	310	460	826
20-21	123	248	390	677
Total	1.891	5.343	5.366	12.600

Resultados de la medición de flujos vehiculares para el Punto 02, 21 de Mayo con Los Héroes, Calbuco.

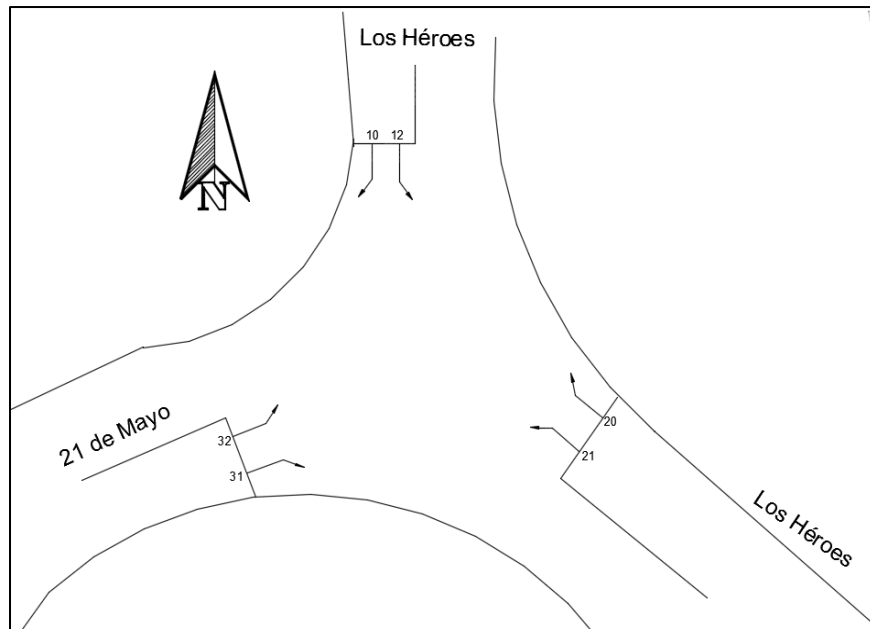


Figura Anexo 4. Diagrama de Movimientos Vehiculares Punto 2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla Anexo 5. P02 - Flujos horarios por Movimiento [veq/h]. Fuente: Elaboración Conjunta con la Unidad de Tránsito CGM.

Hora\Mov.	10	12	20	21	31	32	Total
7-8	6	41	106	249	524	1	927
8-9	1	26	138	412	653	1	1.232
9-10	2	30	113	308	494	3	949
10-11	4	35	103	321	478	12	952
11-12	6	53	118	336	477	5	995
12-13	2	43	104	392	469	13	1.022
13-14	6	15	154	348	416	3	942
14-15	5	37	111	283	416	5	857
15-16	14	35	140	374	516	13	1.092
16-17	8	42	131	438	548	3	1.170
17-18	4	53	170	479	540	9	1.255
18-19	6	55	161	422	536	5	1.183
19-20	5	39	158	355	413	2	972
20-21	3	48	114	295	428	7	895
Total	72	552	1.821	5.011	6.908	80	14.443

- Mediciones continuas de flujo peatonal

Para esta medición también se utilizó el método de filmaciones continuas mediante cámaras instaladas en el sector. A continuación, los resultados del Punto 1.

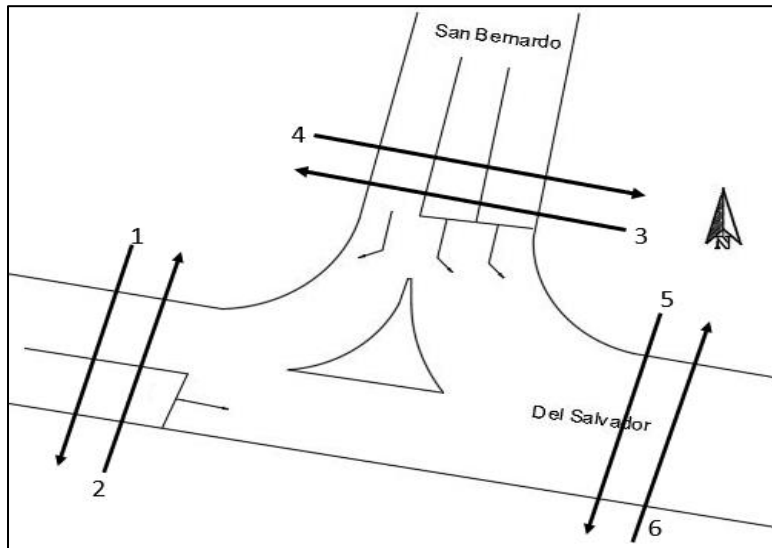


Figura Anexo 5. Diagrama de Movimientos Peatonales Punto 1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla Anexo 6. P01 - Flujos Peatonales horarios por Movimiento [veq/h]. Fuente: Elaboración Conjunta con la Unidad de Tránsito CGM.

Hora\Mov.	1	2	3	4	5	6	Total
7-8	41	111	19	56	2	3	232
8-9	71	174	25	56	1	1	328
9-10	113	197	60	36	3	8	417
10-11	165	282	97	52	5	4	605
11-12	219	330	83	43	3	6	684
12-13	220	325	88	50	1	4	688
13-14	183	255	79	40	3	5	565
14-15	130	229	77	36	8	8	488
15-16	128	232	115	63	1	6	545
16-17	123	231	124	49	3	11	541
17-18	159	249	112	41	3	13	577
18-19	242	362	134	81	3	3	825
19-20	207	207	111	61	9	2	597
20-21	98	138	79	28	4	17	364
Total	2.099	3.322	1.203	692	49	91	7.456

Resultados de la medición de flujos peatonales del Punto 2.

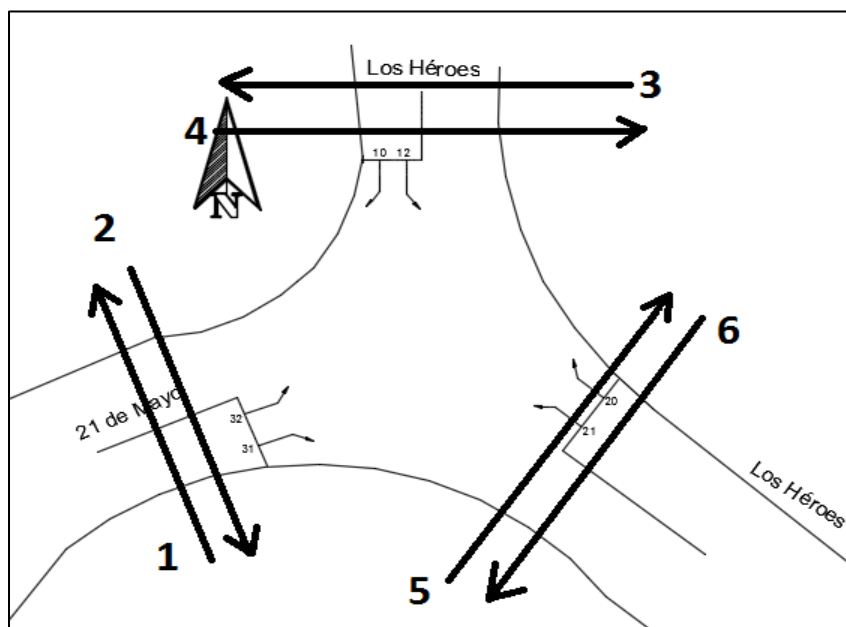


Figura Anexo 6. Diagrama de Movimientos Peatonales Punto 2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla Anexo 7. P02 - Flujos Peatonales horarios por Movimiento [veq/h]. Fuente: Elaboración Conjunta con la Unidad de Tránsito CGM.

Hora\Mov.	1	2	3	4	5	6	Total
7-8	5	8	0	6	2	9	30
8-9	6	4	0	3	7	6	26
9-10	4	5	4	7	9	13	42
10-11	3	1	2	0	4	4	14
11-12	2	2	4	7	3	10	28
12-13	5	12	7	6	6	10	46
13-14	3	1	6	3	2	5	20
14-15	2	4	3	4	6	6	25
15-16	0	4	9	3	13	3	32
16-17	7	11	3	7	11	17	56
17-18	7	13	9	0	19	9	57
18-19	8	11	5	6	15	7	52
19-20	3	6	3	2	8	4	26
20-21	6	4	3	1	8	6	28
Total	61	86	58	55	113	109	482

- Mediciones de longitud de cola

En el marco del presente estudio, se midió la longitud de cola de la pista a la cual se le regula la operación de prioridad, conforme al procedimiento establecido en la Metodología presentada. En el caso de Puerto Varas, corresponde a la pista central de la vía San Bernardo, esto, porque las otras dos pistas que componen la calzada poseen un movimiento exclusivo en el cual no requieren de ceder prioridad de paso. A continuación, se presenta los gráficos asociados a esta medición.

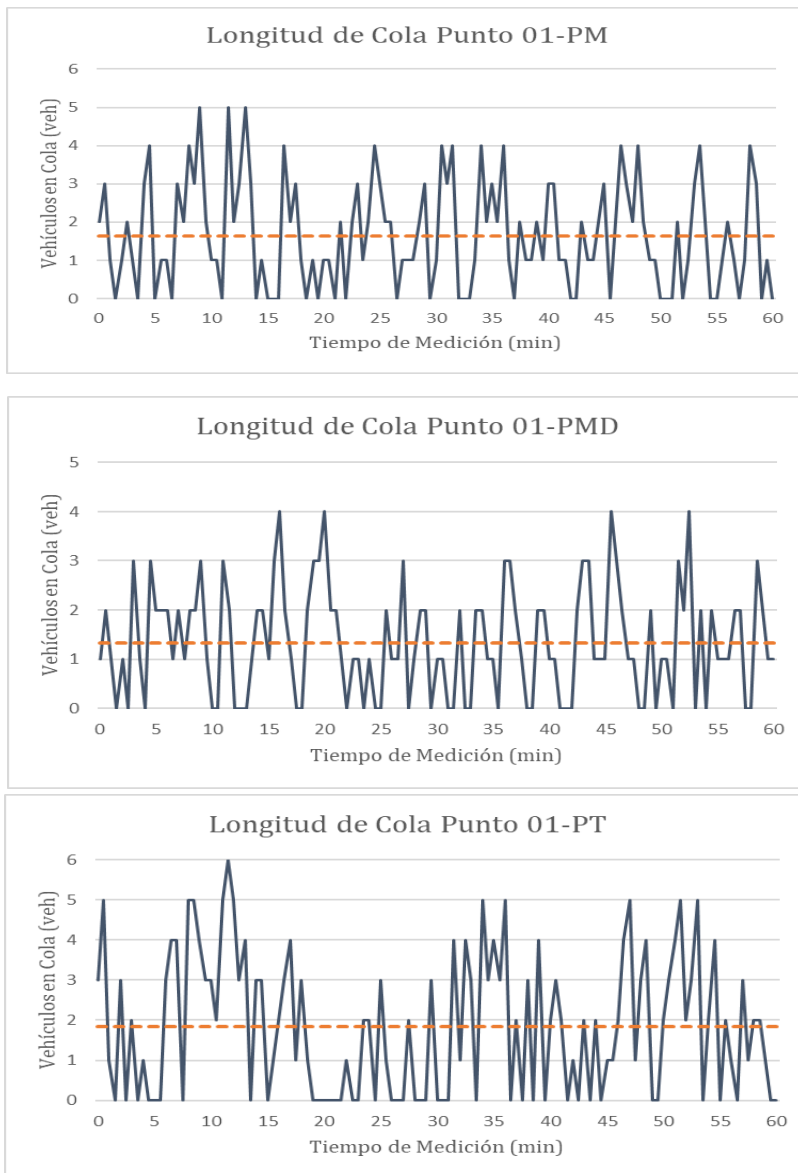


Figura Anexo 7. Longitud de Cola para las tres horas punta en la pista central de San Bernardo. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de Calbuco, la medición se realizó en la única pista que accede a la intersección ubicada en Los Héroes tramo norte. A continuación, los resultados.

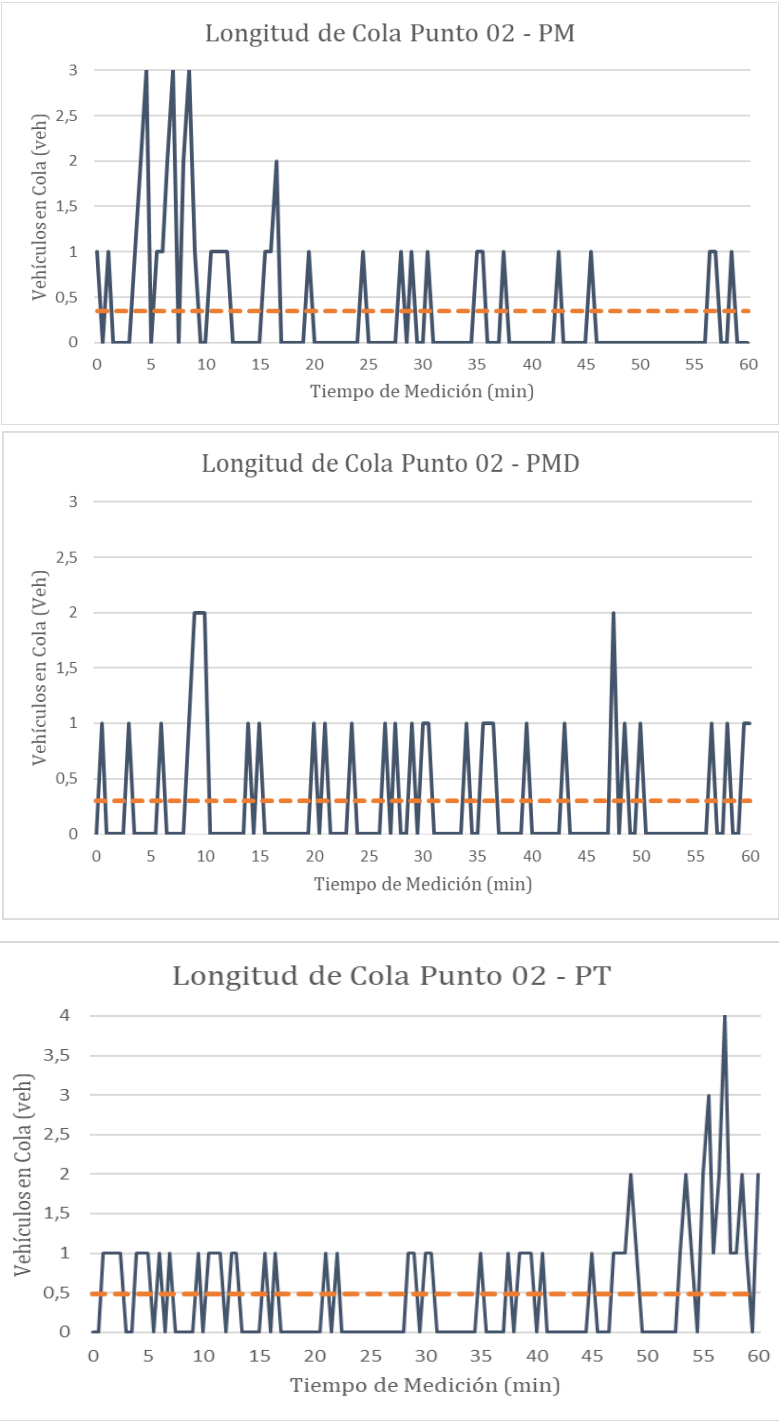


Figura Anexo 8. Longitud de Cola para las tres horas punta en la vía Los Héroes tramo norte. Fuente: Elaboración propia.

La línea segmentada presente en las figuras corresponde a la cola media formada en la hora punta medida. El análisis de estos resultados se realiza posteriormente en el diagnóstico de movilidad y fluidez. Estos resultados permiten a su vez, realizar una comparación cualitativa con el resultado de la microsimulación del escenario actual, siendo uno de los parámetros que permiten validar el modelo.

- Mediciones de velocidad

A modo de ejemplo, se presenta un cuadro con los detalles de la medición de la velocidad de un único tramo, una dirección y un horario.



Figura Anexo 9. Trayectoria de la medición de velocidad. Fuente: Elaboración propia.

Tabla Anexo 8. Resultados de medición tramo Del Salvador entre Dr. Otto y San Francisco – PM (km/h).
Fuente: Elaboración propia.

N	Dr. Otto Bader Dr. Giessler	Dr. Giessler San Ignacio	San Ignacio Purísima	Purísima San Bernardo	San Bernardo San Francisco	Media Tramo
1	24,1	12,2	29,3	42,3	30,2	27,8
2	6,7	13,7	16,7	24,9	24,1	16,2
3	5,0	10,0	23,4	22,3	24,1	13,9
4	13,4	13,7	29,3	35,3	15,1	21,7
5	9,3	15,7	29,3	42,3	8,0	18,2

D. Catastros

- Catastro de Transporte Público

A partir de la información recopilada en SEREMITT, se pudo trazar el transporte público (TP) existente en las comunas de Puerto Varas y Calbuco, las que principalmente corresponde a servicios de Taxi Colectivos y Buses Rurales. Las vías de los puntos que son ocupadas para el transporte público se resumen a continuación.

Tabla Anexo 9. Catastro de TP en las vías de los Puntos estudiados. Fuente: Elaboración propia.

Punto\ TP	Taxi Colectivos	Buses Rurales
P1	<ul style="list-style-type: none">• San Bernardo• Del Salvador	<ul style="list-style-type: none">• San Bernardo• Del Salvador
P2	<ul style="list-style-type: none">• Los Héroes tramo suroriente• Los Héroes tramo norte• 21 de Mayo	<ul style="list-style-type: none">• Los Héroes tramo suroriente.• 21 de Mayo

- Catastro de Accidentes de Tránsito

Con los antecedentes recopilados en Carabineros de Chile se pudo obtener la información de accidentabilidad en los puntos objeto de estudio. De acuerdo con los antecedentes recabados en el Punto 01 han ocurrido 8 accidentes en los últimos años, como se puede apreciar en el siguiente cuadro.

Tabla Anexo 10. Accidentes Ocurridos en el Punto 01. Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes entregados por Carabineros de Chile.

INTERSECCIÓN			AÑO					TOTAL
Nº	Calles	Comuna	2014	2015	2016	2017	2018	
01	Del Salvador Poniente - San Bernardo	Puerto Varas	1	2	3	1	1	8

En el periodo 2014-2018 no se registraron personas muertas en accidentes de tránsito en esta intersección, pero hubo 5 lesionados, como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla Anexo 11. Total de accidentes Punto 01. Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes entregados por Carabineros de Chile.

INTERSECCIÓN			PERÍODO 2014 - 2015		
			Muertos	Lesionados	
Nº	Calles	Comuna		Totales	Promedio Anual
01	Del Salvador Poniente - San Bernardo	Puerto Varas	0	5	1

De acuerdo con los antecedentes recabados en el Punto 02 han ocurrido 0 accidentes en los últimos años, como se puede apreciar en el siguiente cuadro.

Tabla Anexo 12. Accidentes Ocurridos en el Punto 01. Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes entregados por Carabineros de Chile.

INTERSECCIÓN			AÑO					TOTAL
Nº	Calles	Comuna	2014	2015	2016	2017	2018	
02	21 de Mayo - Los Héroeos	Calbuco	0	0	0	0	0	0

En el periodo 2014-2018 no se registraron personas muertas en accidentes de tránsito en esta intersección, pero hubo 5 lesionados, como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla Anexo 13. Total de accidentes Punto 01. Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes entregados por Carabineros de Chile.

INTERSECCIÓN			PERÍODO 2014 - 2015			JUSTIFICA SEMÁFORO	
			Muertos	Lesionados			
Nº	Calles	Comuna		Totales	Promedio Anual	Muertes	Lesionados
02	21 de Mayo - Los Héroeos	Calbuco	0	0	0	NO	NO

- Catastro Normativo y Operativo

En lo que respecta a las características de las vías, el siguiente cuadro muestra, para cada una de las vías que conforman esta intersección, la categoría según el instrumento de planificación territorial, sentido de tránsito, ancho oficial y real, número de pistas y autorización para estacionar.

Tabla Anexo 14. Características de las vías del Punto 01. Fuente: Elaboración propia en base a la información dispuesta en el PRC.

Punto	CARACTERÍSTICAS VÍA						
	Nombre Calle	Categoría PRC	Sentido de Tránsito	Ancho Oficial (m)	Ancho Real (m)	Nº Pistas	Estacionamiento
01	Del Salvador	Colectora	Ambos	S.i	16	3	No Estacionar
01	San Bernardo	S.i.	N-S	S.i	S.i	2	No Estacionar

* S. i. (Sin información, vías no categorizadas en los instrumentos de planificación)

Tabla Anexo 15. Características de las vías del Punto 02. Fuente: Elaboración propia en base a la información dispuesta en el PRC.

Punto	CARACTERÍSTICAS VÍA						
	Nombre Calle	Categoría PRC	Sentido de Tránsito	Ancho Oficial (m)	Ancho Real (m)	Nº Pistas	Estacionamiento
02	21 de Mayo	S.i	Ambos	15	S.i	2	Permitido Estacionar
02	Los Héroes	S.i	Ambos	15	S.i	2	Permitido Estacionar

* S. i. (Sin información, vías no categorizadas en los instrumentos de planificación)

- Catastro Urbanístico y de Paisajismo

La localización de centros de atracción y generación de viajes es de gran ayuda en la comprensión de la dinámica de viajes. Estos lugares son los puntos que concentran actividades convirtiéndose en sectores altamente concurridos por la población, como es el caso de los Hospitales, Colegios, Servicios Públicos, entre otros. En las siguientes imágenes se muestran los centros de atracción y generación de viajes identificados en el área de estudio de las ciudades de Puerto Varas y Calbuco.

Punto 1, Puerto Varas

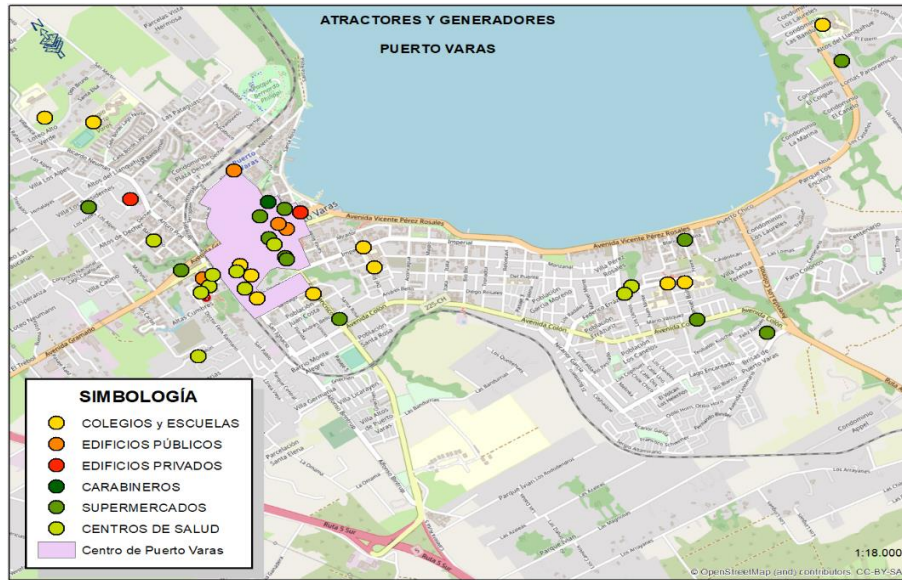


Figura Anexo 10. Centros Generados y Atractores de Viajes, Puerto Varas. Fuente: Equipo de Urbanismo CGM.

Esta intersección de prioridad está conformada por las calles Del Salvador y San Bernardo. Ambas calles presentan pavimentación de hormigón. Del Salvador permite el tránsito en sentido bidireccional desde la intersección hacia el norponiente, y unidireccional hacia el suroriente, mientras que San Bernardo permite el tránsito en sentido unidireccional. La calzada de San Bernardo está compuesta por tres pistas al igual que la rama suroriente de la calle Del Salvador, sin embargo, esta última posee dos pistas en la calzada norponiente de esta. La intersección se encuentra demarcada con dos cruces peatonales y está ubicada en la zona centro de la ciudad de Puerto Varas, cuenta con refugio peatonal, estacionamiento, estación de servicios, supermercado, restaurantes, centro comercial, entre otros, además de ser una vía que empalma con la entrada norte de la ciudad.



Figura Anexo 11. Vista hacia calle Del Salvador en dirección oriente. Fuente: Elaboración propia.



Figura Anexo 12. Vista hacia calle San Bernardo en dirección norte. Fuente: Elaboración propia.

Punto 2, Calbuco



Figura Anexo 13. Centros Generados y Atractores de Viajes, Calbuco. Fuente: Equipo de Urbanismo, CGM.

Esta intersección de prioridad se encuentra ubicada en el sector Norte de la ciudad, a la entrada del pedraplén, conformada por las calles 21 de Mayo y Los Héroes. La calle 21 de Mayo se encuentra pavimentada con asfalto, al igual que calle Los Héroes. El pavimento asfáltico de esta última se encuentra sobre el pedraplén. Esta es una intersección en “Y” y se encuentra demarcada con tres cruces peatonales, uno por cada calle. La intersección cuenta con refugios peatonales y las calzadas que la conforman están compuestas por dos pistas en cada dirección de tránsito (bidireccional).



Figura Anexo 14. Vista rama surponiente de la intersección. Fuente: Elaboración propia.

- Catastro de Características relevantes adicionales a las viales

En los levantamientos de información realizados, por el equipo de catastros, en el marco del presente estudio, no se detectaron elementos de las características que se solicitan en este catastro para los puntos objeto de estudio. A saber, canales de regadío, puentes, obras de arte, pasos superiores, pasos inferiores, líneas férreas, etc.

- Catastro de Luminarias

Punto 1, Puerto Varas:

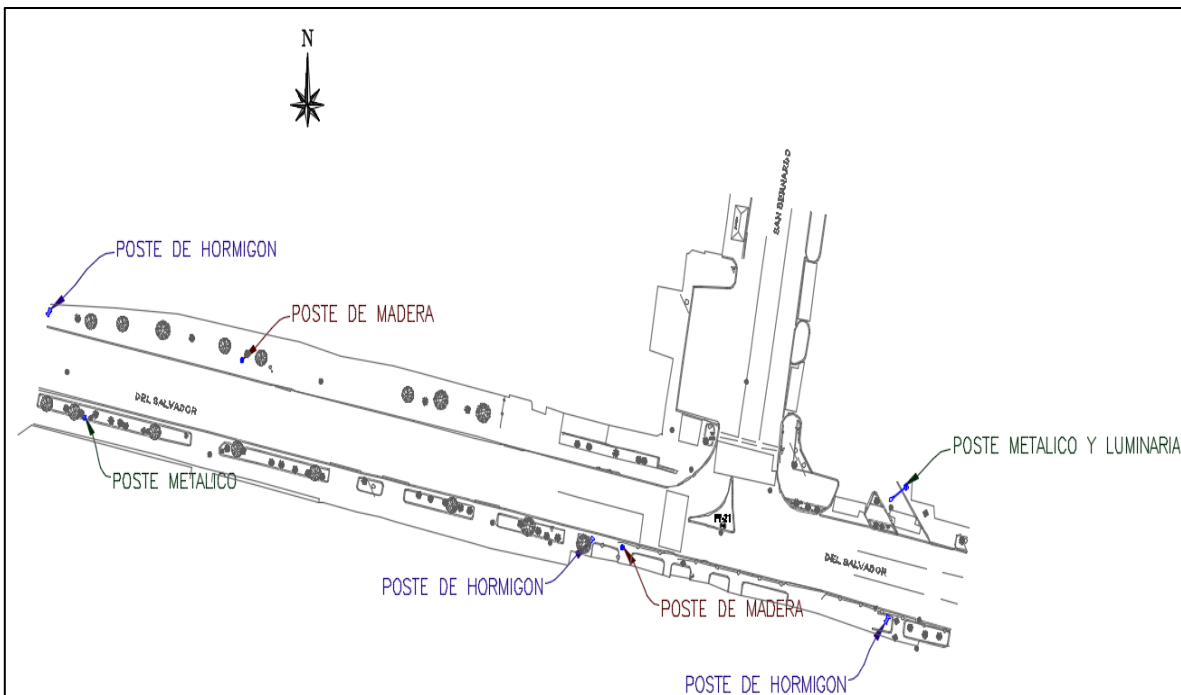


Figura Anexo 15. Plano Catastro de Luminarias Punto 1. Fuente: Elaboración propia.

Punto 2, Calbuco:

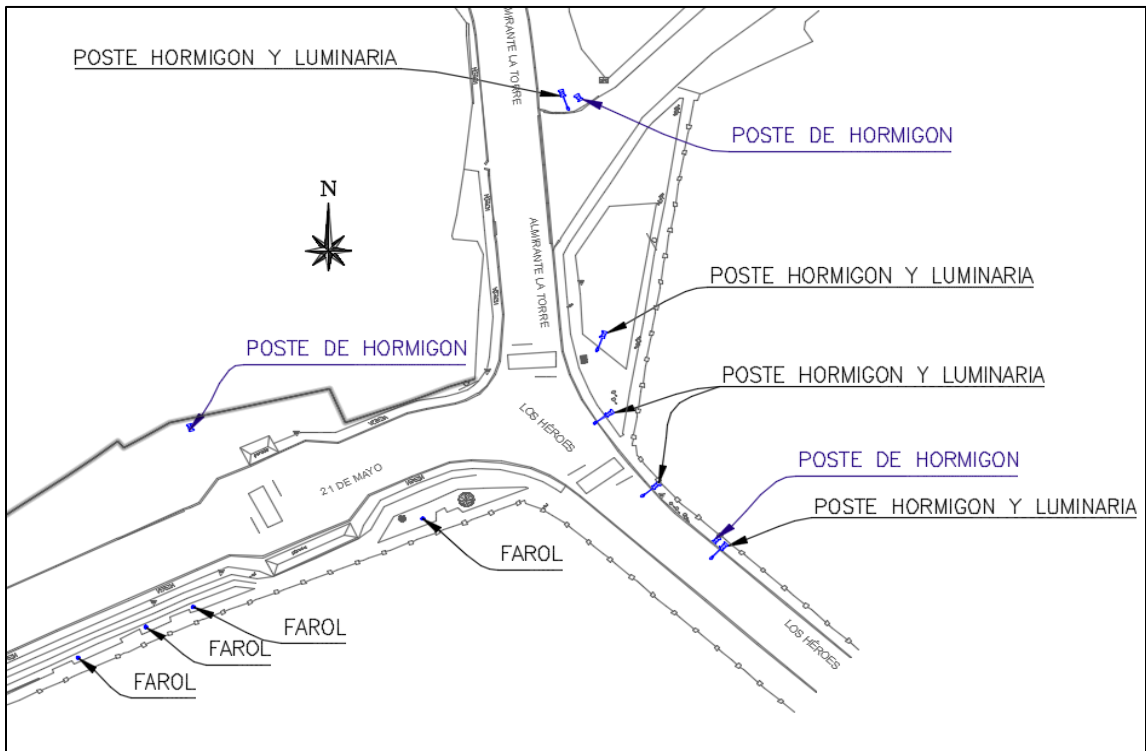


Figura Anexo 16. o Catastro de Luminarias Punto 2. Fuente: Elaboración propia.

- Catastro de Servicios Simplificado
Punto 1, Puerto Varas

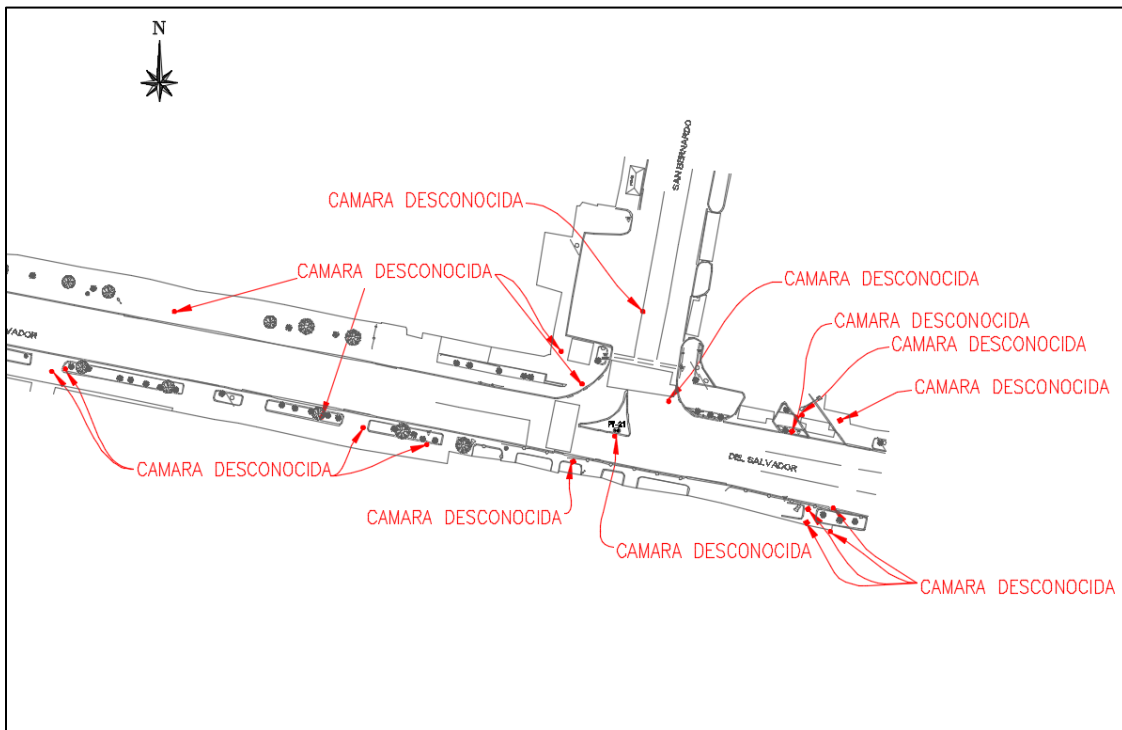


Figura Anexo 17. Catastro de Servicios Simplificado Punto 1. Fuente: Elaboración propia.

Punto 2, Calbuco

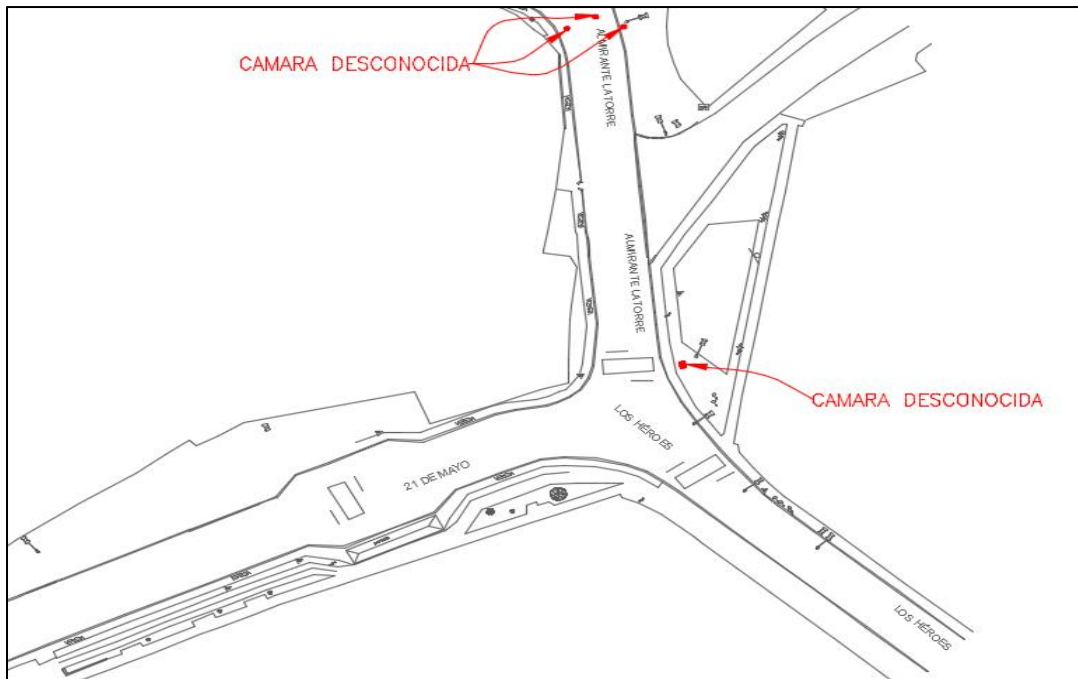


Figura Anexo 18. Catastro de Servicios Simplificado Punto 2. Fuente: Elaboración propia.

10.2. B.2 – Solución

1.1.1 Análisis de Justificación de Semáforos

- Según Flujo Vehicular – Punto 1

En lo que respecta a la justificación de un semáforo según flujo vehicular, para este caso donde la vía principal tiene una pista de acceso por sentido y la secundaria tiene más de 2 pistas de acceso, se debe cumplir con flujo sobre 840 veh/h en la vía principal y sobre 280 veh/h en la vía secundaria durante 8 horas del día, o con flujo sobre 1000 veh/h en la vía principal y sobre 330 en la vía secundaria durante 4 horas del día. Este análisis se expone en el siguiente cuadro.

Tabla Anexo 16. Análisis Justificación de Semáforo según Flujos Vehicular 8 y 4 horas. Fuente: Elaboración conjunta con Equipo de Tránsito CGM.

Hora		Flujo Vehicular (Veh/h)		8 horas		4 horas	
Inicial	Final	Vía Principal	Max Vía Secundaria	840	280	1000	330
7:00	8:00	415	244	NO	NO	NO	NO
8:00	9:00	595	366	NO	SI	NO	SI
9:00	10:00	453	334	NO	SI	NO	SI
10:00	11:00	452	352	NO	SI	NO	SI
11:00	12:00	488	300	NO	SI	NO	NO
12:00	13:00	513	399	NO	SI	NO	SI
13:00	14:00	501	328	NO	SI	NO	NO
14:00	15:00	406	287	NO	SI	NO	NO
15:00	16:00	522	337	NO	SI	NO	SI
16:00	17:00	561	334	NO	SI	NO	SI
17:00	18:00	521	374	NO	SI	NO	SI
18:00	19:00	488	429	NO	SI	NO	SI
19:00	20:00	460	310	NO	SI	NO	NO
20:00	21:00	390	248	NO	NO	NO	NO

Como se desprende del cuadro anterior, en esta intersección no se justifica un semáforo De acuerdo con estos criterios, ya que a ninguna hora se superan los umbrales de flujo vehicular requeridos en la vía principal y secundaria simultáneamente.

- Según Flujo Peatonal – Punto 1

En lo que respecta al análisis peatonal, se justifica la instalación de un semáforo cuando el indicador PV^2 , que mezcla el nivel de actividad peatonal (P) con el flujo vehicular (V) que enfrentan los peatones, supera los 10^8 como promedio de las 4 horas de mayor actividad. En los siguientes cuadros se muestra el cálculo de dicho indicador para cada uno de los accesos de la intersección analizada.

Tabla Anexo 17. Análisis Conflicto 1: PV2 Cuatro Horas más Cargadas y Promedio Punto 1. Fuente: Elaboración conjunta con Equipo de Tránsito CGM.

HORA		FLUJO		PV ²
INICIO	FINAL	PEATONAL	VEHICULAR	
7:00	8:00	158	415	2.72.E+07
8:00	9:00	247	595	8.74.E+07
9:00	10:00	321	453	6.59.E+07
10:00	11:00	456	452	9.32.E+07
11:00	12:00	560	488	1.33.E+08
12:00	13:00	550	513	1.45.E+08
13:00	14:00	447	501	1.12.E+08
14:00	15:00	376	406	6.20.E+07
15:00	16:00	367	522	1.00.E+08
16:00	17:00	370	561	1.16.E+08
17:00	18:00	424	521	1.15.E+08
18:00	19:00	611	488	1.46.E+08
19:00	20:00	425	460	8.99.E+07
20:00	21:00	258	390	3.92.E+07
PROMEDIO				
4 MAX		522.75	513	1.37.E+08

Como se desprende del cuadro anterior, el valor promedio de PV² en las cuatro horas de mayor valor es de 1.37E+08, valor que justifica la instalación de un semáforo en esta intersección debido al conflicto entre vehículos y peatones.

- Según Accidentes – Punto 1

En lo que respecta a la accidentabilidad en la intersección, el manual señala que se justifica la instalación de un semáforo, cuando en la intersección o cruce peatonal analizado se haya producido al menos una de las siguientes condiciones:

- 2 o más personas fallecidas en los últimos 5 años; o
- 5 o más accidentes con lesionados, cualquiera sea su gravedad, como promedio anual durante los últimos 5 años.

Los resultados del análisis de accidentabilidad en este punto se exponen en el siguiente cuadro.

Tabla Anexo 18. Total de Accidentes Ocurridos por año. Fuente: Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes entregados por Carabineros de Chile.

INTERSECCIÓN			PERÍODO 2014 - 2015			JUSTIFICA SEMÁFORO	
			Muertos	Lesionados			
Nº	Calles	Comuna		Totales	Promedio Anual	Muertes	Lesionados
20	Del Salvador Poniente - San Bernardo	Puerto Varas	0	5	1	NO	NO

Como se desprende del cuadro anterior, los índices de accidentabilidad en esta intersección son insuficientes para justificar la instalación de un semáforo.

- Según Umbrales Reducidos – Punto 1

En casos excepcionales la UOCT puede autorizar la justificación de un semáforo si en la intersección analizada los flujos vehiculares observados son mayores o iguales a un 75% de los valores señalados en la justificación con flujos de 8 horas. El siguiente cuadro muestra este análisis.

Tabla Anexo 19. Análisis Justificación de Semáforo Umbral Reducido. Fuente: Elaboración conjunta con Equipo de Tránsito CGM.

Hora		Flujo Vehicular (Veh/h)		8 horas / 75%	
Inicial	Final	Vía Principal	Max Vía Secundaria	630	210
7:00	8:00	415	244	NO	SI
8:00	9:00	595	366	NO	SI
9:00	10:00	453	334	NO	SI
10:00	11:00	452	352	NO	SI
11:00	12:00	488	300	NO	SI
12:00	13:00	513	399	NO	SI
13:00	14:00	501	328	NO	SI
14:00	15:00	406	287	NO	SI
15:00	16:00	522	337	NO	SI
16:00	17:00	561	334	NO	SI
17:00	18:00	521	374	NO	SI
18:00	19:00	488	429	NO	SI
19:00	20:00	460	310	NO	SI
20:00	21:00	390	248	NO	SI

Como se desprende del cuadro anterior, el umbral nunca es superado simultáneamente en la vía principal y secundaria por lo que no se justifique un semáforo en esta intersección según este criterio.

- Según Flujo Vehicular – Punto 2

En lo que respecta a la justificación de un semáforo según flujo vehicular, para este caso donde la vía principal tiene una pista de acceso por sentido y la secundaria tiene una pista de acceso también, se debe cumplir con flujo sobre 750 veh/h en la vía principal y sobre 230 veh/h en la vía secundaria durante 8 horas del día, o con flujo sobre 850 veh/h en la vía principal y sobre 260 en la vía secundaria durante 4 horas del día. Este análisis se expone en el siguiente cuadro.

Tabla Anexo 20. Análisis Justificación de Semáforo según Flujos Vehicular 8 y 4 horas Punto 2. Fuente: Elaboración conjunta con equipo de Tránsito CGM.

Hora		Flujo Vehicular (Veh/h)		8 horas		4 horas	
Inicial	Final	Vía Principal	Max Vía Secundaria	750	230	850	260
7:00	8:00	773	47	SI	NO	NO	NO
8:00	9:00	1,065	27	SI	NO	SI	NO
9:00	10:00	802	32	SI	NO	NO	NO
10:00	11:00	799	39	SI	NO	NO	NO
11:00	12:00	813	59	SI	NO	NO	NO
12:00	13:00	861	45	SI	NO	SI	NO
13:00	14:00	764	21	SI	NO	NO	NO
14:00	15:00	699	42	NO	NO	NO	NO
15:00	16:00	890	59	SI	NO	SI	NO
16:00	17:00	986	50	SI	NO	SI	NO
17:00	18:00	1,019	57	SI	NO	SI	NO
18:00	19:00	958	61	SI	NO	SI	NO
19:00	20:00	768	44	SI	NO	NO	NO
20:00	21:00	723	51	SI	NO	NO	NO

Como se desprende del cuadro anterior, en esta intersección no se justifica un semáforo De acuerdo con estos criterios, ya que a ninguna hora se superan los umbrales de flujo vehicular requeridos en la vía principal y secundaria simultáneamente.

- Según Flujo Peatonal – Punto 2

Tabla Anexo 21. Análisis Conflicto 1: PV2 Cuatro Horas más Cargadas y Promedio. Fuente: Elaboración conjunta con Equipo de Tránsito CGM.

HORA		FLUJO		PV ²
INICIO	FINAL	PEATONAL	VEHICULAR	
7:00	8:00	24	773	1.54.E+07
8:00	9:00	23	1,065	2.60.E+07
9:00	10:00	31	802	1.97.E+07
10:00	11:00	12	799	7.58.E+06
11:00	12:00	17	813	1.11.E+07
12:00	13:00	33	861	2.32.E+07
13:00	14:00	11	764	7.04.E+06
14:00	15:00	18	699	8.97.E+06
15:00	16:00	20	890	1.65.E+07
16:00	17:00	46	986	4.36.E+07
17:00	18:00	48	1,019	5.18.E+07
18:00	19:00	42	958	4.12.E+07
19:00	20:00	21	768	1.45.E+07
20:00	21:00	25	723	1.41.E+07
PROMEDIO				
4 MAX		39.75	1017	4.11.E+07

Como se desprende del cuadro anterior, el valor promedio de PV² en las cuatro horas de mayor valor es de 4.11E+07, valor que no justifica la instalación de un semáforo en esta intersección debido al conflicto entre vehículos y peatones.

- Según Accidentes – Punto 2

Los resultados del análisis de accidentabilidad en este punto se exponen en el siguiente cuadro.

Tabla Anexo 22. Total de Accidentes Ocurridos por año Punto 2. Fuente: Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes entregados por Carabineros de Chile.

INTERSECCIÓN			PERÍODO 2014 - 2015			JUSTIFICA SEMÁFORO	
			Muertos	Lesionados			
Nº	Calles	Comuna		Totales	Promedio Anual	Muertes	Lesionados
23	21 de Mayo - Los Héroes	Calbuco	0	0	0	NO	NO

Como se desprende del cuadro anterior, los índices de accidentabilidad en esta intersección son insuficientes para justificar la instalación de un semáforo.

- Según Umbrales Reducidos – Punto 2

Tabla Anexo 23. Análisis Justificación de Semáforo Umbral Reducido. Fuente: Elaboración conjunta con equipo transito CGM.

Hora		Flujo Vehicular (Veh/h)		8 horas / 75%	
Inicial	Final	Vía Principal	Max Vía Secundaria	562.5	172.5
7:00	8:00	800	44	SI	NO
8:00	9:00	1,064	27	SI	NO
9:00	10:00	798	31	SI	NO
10:00	11:00	795	36	SI	NO
11:00	12:00	808	53	SI	NO
12:00	13:00	839	42	SI	NO
13:00	14:00	800	17	SI	NO
14:00	15:00	706	38	SI	NO
15:00	16:00	908	39	SI	NO
16:00	17:00	974	45	SI	NO
17:00	18:00	1,039	44	SI	NO
18:00	19:00	990	54	SI	NO
19:00	20:00	831	40	SI	NO
20:00	21:00	752	47	SI	NO

Como se desprende del cuadro anterior, el umbral nunca es superado simultáneamente en la vía principal y secundaria, por lo que no se justifica un semáforo en esta intersección según este criterio.

11. ANEXO C - MICROSIMULACIÓN

11.1. C.1 – Comparación entre microsimuladores

Actualmente, dentro de los microsimuladores comerciales disponibles para el desarrollo de estudios relacionados con transporte urbano, se encuentran mayormente presentes en la literatura: VISSIM (PTV Group), PARAMICS (Quadstone Paramics), CORSIM (Mc Trans Center) y AIMSUN NG (TSS-Transport Simulation Systems). Todos ellos, son paquetes de software comercial pagados. Existen varias diferencias entre ellos, por ejemplo, la calidad gráfica, la interfaz de usuario y relacionadas con los modelos detrás de la simulación, siendo los más importantes Seguimiento Vehicular (Car-following Model), Cambio de Pista (Lane-changing Model) y Aceptación de Brecha (Gap-acceptance Model), existiendo distintas variables y parámetros para cada modelo (Stefoni, 2018).

A. Definiciones.

- **AIMSUN NG:** Software comercial de simulación de tráfico estocástico utilizado para la modelación de redes viales. Desarrollado y comercializado por TSS – Transport Simulation Systems con sede en Barcelona, España. Permite simular todo tipo de elementos. Es una herramienta muy útil por la velocidad de sus simulaciones y la modelización de la demanda (Monterosso, 2015). Incorpora una interfaz gráfica afable para el usuario, un editor gráfico de redes que es capaz de soportar cualquier geometría de caminos y una importante base de datos para almacenar los resultados. Incluye una visualización de simulación animada el cual muestra los vehículos moviéndose a través de la red (Rodríguez, 2012).
- **CORSIM:** Software comercial de microsimulación de tráfico cuyos desarrollos iniciales se le atribuye a la Federal Highway Administration de EE. UU. (FHWA) y actualmente a Mc Trans Center de la Universidad de Florida. Este microsimulador se encuentra enfocado en la modelación de redes viales urbanas (modelo Network Simulation) e interurbanas (Freeway Simulation). Cuenta con editor gráfico para la entrada de datos físicos y operacionales de red. Es un paquete completo de simulación, permite ver animación de vehículos sobre la red, y analizar sistemas viales semaforizados, flujo ininterrumpido o combinación de estos (Fernández & Lecaros, 2014).

- **PARAMICS:** Es una suite de herramientas de microsimulación de transportes en el cual se modela los vehículos de manera individual. La suite incluye módulos que desarrollan la red (Modeller), que extrae y analiza datos (Analyser) y corre las simulaciones (Processer) (Rodríguez, 2012). Desarrollado por la empresa consultora de transportes SIAS, con sede en Edimburgo, Escocia. Emplea modelos matemáticos para representar el comportamiento de los conductores, tales como seguimiento vehicular, aceptación de brecha y cambio de carril (Molina, 2018).
- **VISSIM:** Es un programa comercial de modelación microscópica que simula el comportamiento individual de los vehículos desarrollado por la empresa alemana PTV, con una extensión para la simulación de peatones llamado PTV Viswalk (Alexandersson & Johansson, 2013). Es capaz de modelar el tráfico en varias medidas de control en ambientes 3D. El modelo ayuda a comparar diferentes alternativas en el diseño de caminos e intersecciones y contiene diversos componentes y estrategias para ser modelados (Rodríguez, 2012).

B. Comparación entre software comerciales de microsimulación vehicular

- En AIMSUN NG el modelo se comienza construyendo por medio de las secciones (vías) y luego los nudos en donde se especifica la operatividad (uso de pistas, movimientos permitidos, prioridades) de la intersección (Zúñiga, 2010).
- En PARAMICS, el modelo se comienza construyendo por medio de los nodos, que representan las intersecciones o puntos en los cuales se conectan dos o más vías y es el lugar donde se realizan modificaciones en el camino, y luego por los arcos (vías) (Zúñiga, 2010).
- En CORSIM el modelo comienza con la construcción de los nodos que representan las intersecciones o puntos de los cuales se conectan las vías y pueden ser semaforizadas, de prioridad o sin regulación, y luego los arcos que representan las vías. En estos nodos se detalla el número de vehículos y sus movimientos de acuerdo con un porcentaje de flujo total que accede a él (Fernández & Lecaros, 2014).
- En VISSIM el modelo comienza con la construcción del link, que representan las vías o pistas que tendrá un camino de red para luego generar los nodos que representan la intersección y en ellos se modela los movimientos y giros.
- En intersecciones semaforizadas, en AIMSUN NG es posible crear una periodización en el plan de control del punto de la red.
- En intersecciones semaforizadas, en PARAMICS no es posible crear una periodización en el control semafórico de un punto o red, representando una desventaja frente a otros simuladores debido a que no permite simular distintos períodos de manera continua (Zúñiga, 2010).
- En intersecciones semaforizadas, en VISSIM es posible crear una programación y periodización del grupo semafórico de una intersección (Álvarez, 2017).
- En intersecciones semaforizadas, CORSIM permite crear la programación y periodización de los semáforos indicando los movimientos permitidos y los tiempos de las luces verde, rojo y ámbar (Fernández & Lecaros, 2014).

- AIMSUN NG soluciona el problema de bloqueos en intersecciones mediante la opción "Yellow Box".
- PARAMICS soluciona el problema de bloqueos en intersecciones permitiendo un alto nivel de detalle al posibilitar la especificación del porcentaje de vehículos que intentan no bloquear un cruce (Zúñiga, 2010).
- En relación con el transporte público, AIMSUN NG no ha desarrollado modelos de llegada de pasajeros a los paraderos. Su principal cualidad es que permite ingresar la frecuencia junto a una desviación estándar lo que recoge la variación de los servicios de transporte público. También permite ingresar una demora media en paraderos con su respectiva desviación estándar (Zúñiga, 2010).
- En relación con el transporte público, PARAMICS considera un modelo de tasa constante de llegada de pasajeros a un paradero. Se puede indicar la demora media y desviación estándar de los buses en los paraderos y a su vez, PARAMICS calcula el tiempo de demora considerando las tasas de subida y bajada de los pasajeros (Zúñiga, 2010).
- En relación con el transporte público, CORSIM permite modelar buses y paraderos definiéndolos por número de identificación, número de paradas, indica presencia de bahías, tiempo promedio de detención y frecuencia de buses (Fernández & Lecaros, 2014). Burgos (2004), citada por Zúñiga (2010, p.18), indica que, CORSIM permite al usuario definir una distribución para modelar la llegada de pasajeros al paradero.

La siguiente tabla elaborada por Burgos (2004) citada por Zúñiga (2010, p.18) presenta un resumen, con ciertas modificaciones, de las principales características que vienen por defecto en los modelos de algunos de los microsimuladores mencionados más usados en el mundo.

Tabla Anexo 24. Comparación entre softwares comerciales de microsimulación. Fuente: Elaboración propia, basada en Burgos (2004).

Características	AIMSUN NG	CORSIM	PARAMICS	VISSIM
Asignación de vehículos en la red	Opción 1: Frecuencia sigue distribución normal. Opción 2: Frecuencia Fija	Frecuencia Fija	Opción 1: Frecuencia Fija Opción 2: Horario Predefinido.	Frecuencia Fija
Construcción de la red.	Secuencia de secciones, nodos y paraderos.	Secuencia de arcos, nodos y paraderos.	Secuencia de arcos, nodos y paraderos.	Secuencia de secciones, conectores y paraderos.
Prioridad en vías	Pistas de uso exclusivo.	Pistas de uso exclusivo.	Pistas de uso exclusivo.	Pistas de uso exclusivo.

Prioridad en intersecciones	Semáforos actuados.	Semáforos actuados.	Semáforos actuados.	Semáforos actuados.
Tipo de paraderos	Tradicional, bahías y terminales.	Tradicional.	Tradicional.	Tradicional y bahías.
Modelos de llegada de pasajeros al paradero	No está implementado.	Siguen distribución definida por el usuario.	Tasa media de llegada pax/h.	Tasa media de llegada pax/h.

C. Comparación entre software comerciales de microsimulación peatonal

La literatura indica que los softwares comerciales más utilizados para la simulación peatonal son LEGION y VISWALK.

LEGION: Software comercial de microsimulación cuyo objetivo principal es la simulación de movimientos peatonales, donde sus aplicaciones en la geometría y diseño de la infraestructura peatonal están orientadas en el análisis de las características peatonales como tiempos de viaje, densidad y velocidad (Esquivel, 2011). Posee ciertas ventajas descritas por Priya y Taylor (2015):

- Provee modelos de microsimulación con tiempos de funcionamiento rápido.
- Modelación de peatones de alta calidad.
- Modelo integrado, es decir, permite la evaluación de la interacción entre vehículos y peatones.

Los insumos necesarios para la modelación peatonal en LEGION es simplemente la demanda de tráfico (flujos peatonales), diseño de la infraestructura y los datos operacionales como normas de tráfico (Alexandersson & Johansson, 2013).

VISWALK: Es una extensión del software comercial de microsimulación de tráfico PTV VISSIM, cuyo objetivo es la simulación de peatones con un comportamiento realista. Las principales ventajas son (Johansson & Alexandersson, 2013):

- Interfaz con usuario por medio de palabras.
- Tiene la opción de simular únicamente peatones excluyendo el tráfico vehicular.

Stina Alexandersson y Emmi Johansson (2013) en su *Master of Science Thesis* realizaron una comparación entre, según ellas, los softwares de microsimulación peatonal más utilizados en el mundo que son el VISWALK (complemento de Vissim) y LEGION (complemento de Aimsun). En su trabajo afirman que las principales diferencias entre los dos programas radican fundamentalmente en que VISWALK ofrece más posibilidades de modificación y herramientas de personalización, mientras que LEGION destaca por su facilidad en el uso y ofrece una

visualización más atractiva. Por otro lado, en LEGION, afirman las autoras, que los peatones con un mismo par Origen - Destino pueden elegir caminos diferentes, lo que no es posible en VISWALK. Una importante crítica que realizan a ambos programas, es que los peatones no reducen su velocidad de circulación a la hora de acercarse al cruce peatonal. Si los peatones van a cruzar, lo hacen con plena confianza, lo cual no reproduce la realidad, y si los peatones se detienen, lo hacen bruscamente sin una disminución gradual de la velocidad. Otra desventaja de LEGION en relación con VISWALK es la dificultad de simular a los peatones que dan paso a los vehículos (si no tienen un semáforo, prácticamente cruzan los pasos peatonales como si no hubiese presencia de vehículos). La mayor desventaja radica en que en LEGION no es posible visualizar en la simulación la bajada y subida de los pasajeros al transporte público, lo que si lo es en VISWALK.

11.2. C.2 – Construcción del Modelo de Microsimulación

11.2.1 Escenario Actual

La construcción del modelo de simulación microscópica se desarrolló en el software comercial AIMSUN NG. Los parámetros de entrada están basados en la información recogida a partir de las mediciones de tránsito y de la topografía, ambos levantamientos en terreno. Las etapas para la construcción del modelo, calibración, verificación y validación aplicadas a los puntos objeto de estudio se detallan a continuación.

A. Punto 01 – Del Salvador con San Bernardo, Puerto Varas.

- Construcción del Modelo

Teniendo la topografía en planos formato CAD, esta puede ser importada desde AIMSUN NG con la finalidad de realizar el dibujo de la intersección. Se procede también a configurar el número de pistas, anchos, nudos y con la función “Dibujar Polígono”, se puede crear el elemento central que existe en esta intersección. Se configura el nudo, la regulación y las prioridades de las vías.

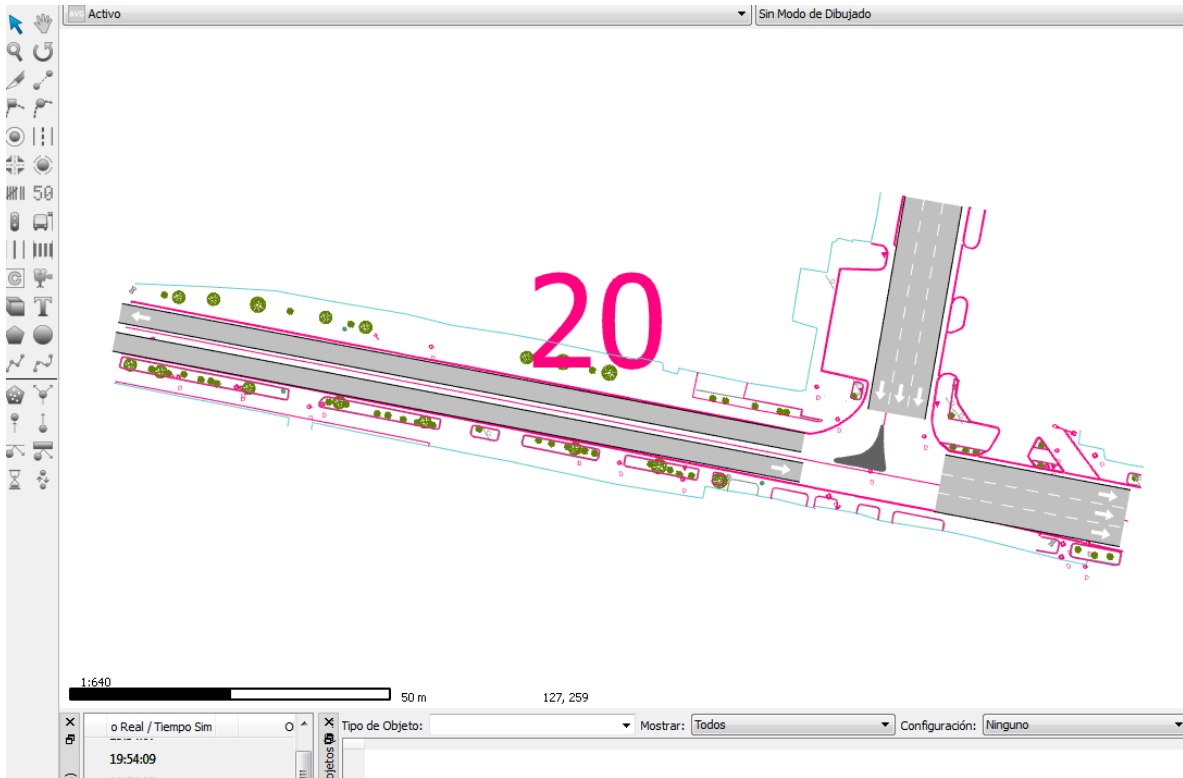


Figura Anexo 19. Captura de Pantalla AIMSUN NG, proceso de dibujo. Fuente: Elaboración propia.

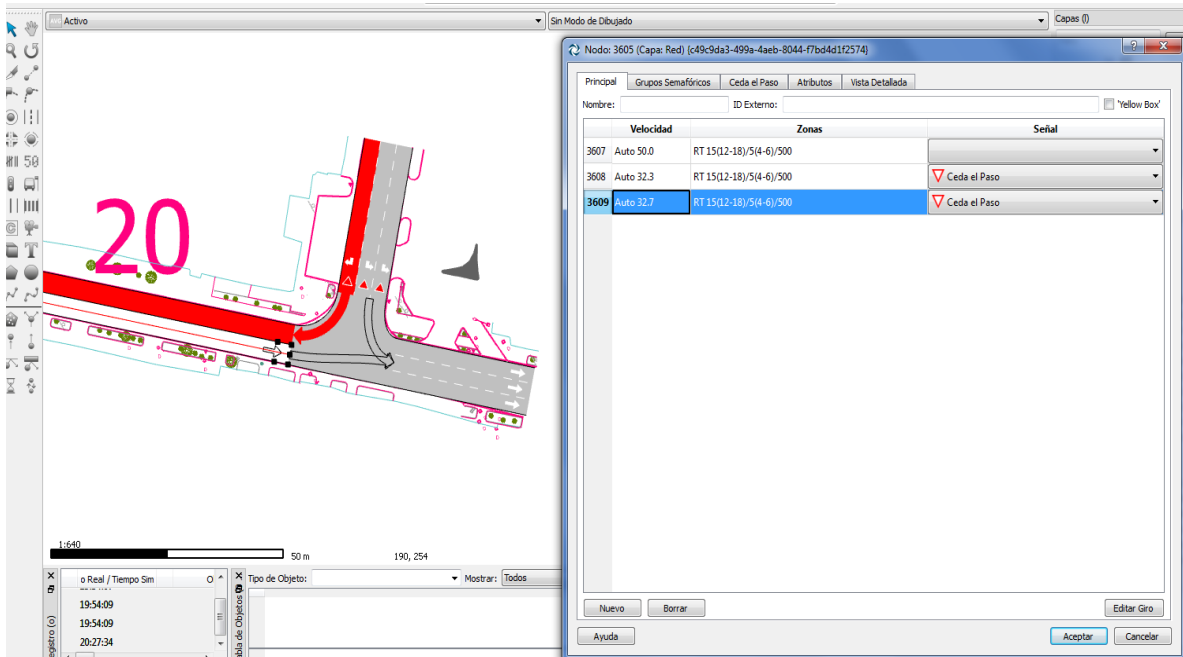


Figura Anexo 20. Captura de Pantalla AIMSUN NG, configuración inicial. Fuente: Elaboración propia.

Pasos peatonales, bahías y paraderos deben ser creados también. En relación con la tipología de vehículos configurada, se consideró la siguiente clasificación conforme a lo observado en las mediciones de flujo vehicular:

- Livianos
- Taxis colectivos
- Taxi buses
- Pesados (Hace referencia a camiones y buses interurbanos).

Para la simulación se debe considerar por cada tipo de vehículo las características asociadas a la geometría, a la velocidad deseada, rangos de aceleración, de distanciamiento, modelos de vehículos, etc. En virtud de ingresar los datos de demanda de tráfico, estos, se realizarán por medio de matriz Origen- Destino (OD). Antes de ingresar las matrices OD, es necesario crear centroides, los cuales corresponden a zonas de entrada y salida de vehículos y clasifica los volúmenes en la matriz OD. Para el caso del Punto 01, se crean tres centroides dado que es una intersección con forma de T (posee tres vías). Posteriormente, los datos que completan la matriz OD se extraen a partir de las mediciones de flujo realizadas en terreno, cuyos resultados presentados en la sección Anexo B de la presente Memoria, se ingresan para cada tipo de vehículo, por cada movimiento predefinido y por cada período punta analizado. A continuación, se presentan imágenes que corresponden a capturas desde AIMSUN NG y que muestran la construcción del modelo con sus centroides vehiculares correspondientes y una matriz OD de ejemplo.

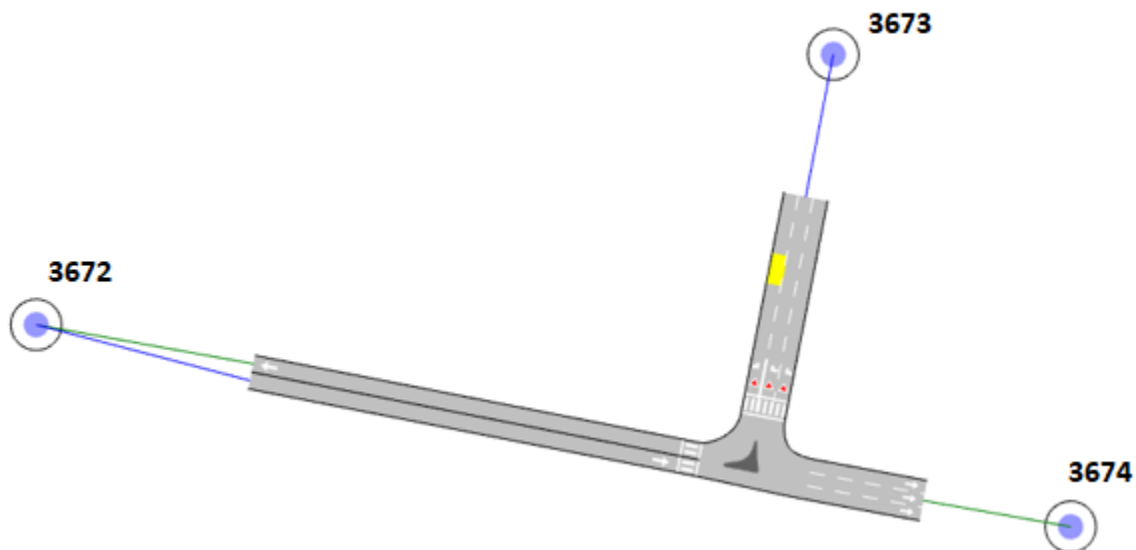


Figura Anexo 21. Captura desde AIMSUN NG, muestra modelo con centroides. Fuente: Elaboración Propia.

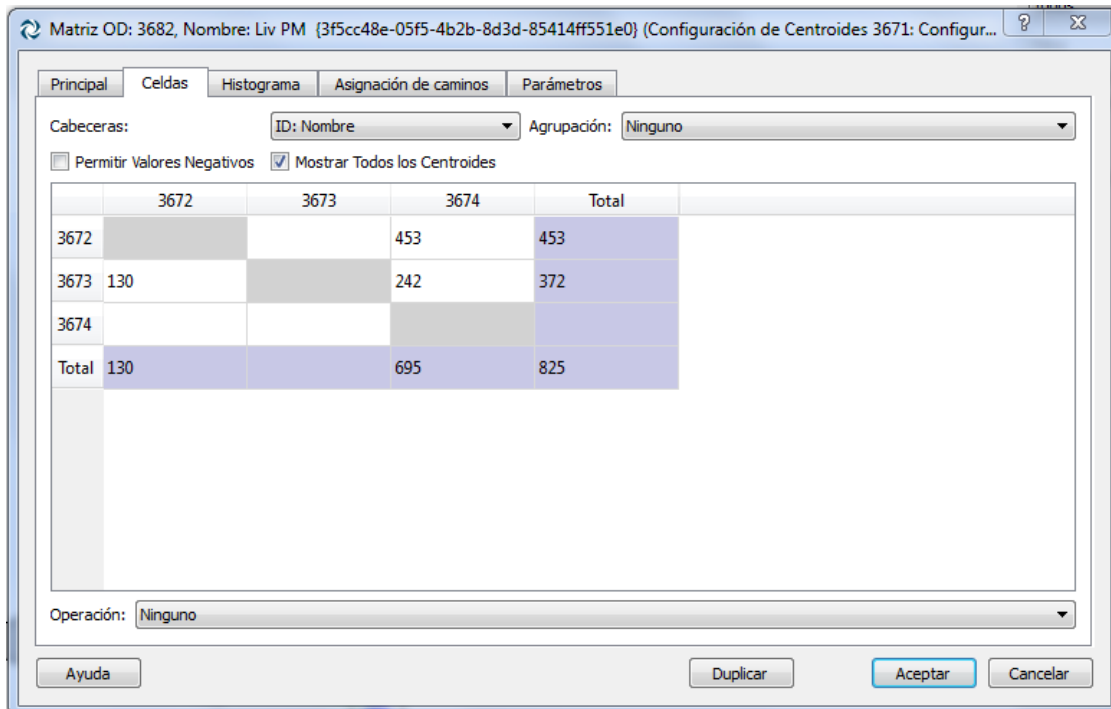


Figura Anexo 22. Captura desde AIMSUN NG. Matriz OD para vehículos Livianos en Punta Mañana. Fuente: Elaboración propia.

La información ingresada a la Matriz OD es coherente con los flujos medidos y según movimiento permitido respetando la direccionalidad de las vías, razón por la cual existen espacios en blanco.

Para el ingreso de Peatones el procedimiento es más complejo. Para microsimular peatones es necesario poseer licencia de la extensión LEGION en AIMSUN NG. Para el modelado, se requiere primeramente definir un área de peatones, y luego entradas y salidas de estos (centroides), seguido por el ingreso de Matriz OD de peatones y las rutas a definir. Esta matriz se completa por medio de los flujos peatonales medidos y presentados en el Anexo B. A continuación, se presentan imágenes que corresponden a capturas desde AIMSUN NG y que muestran la construcción del modelo con sus centroides peatonales correspondientes (cuadros verde y rojo) y una matriz OD de ejemplo.

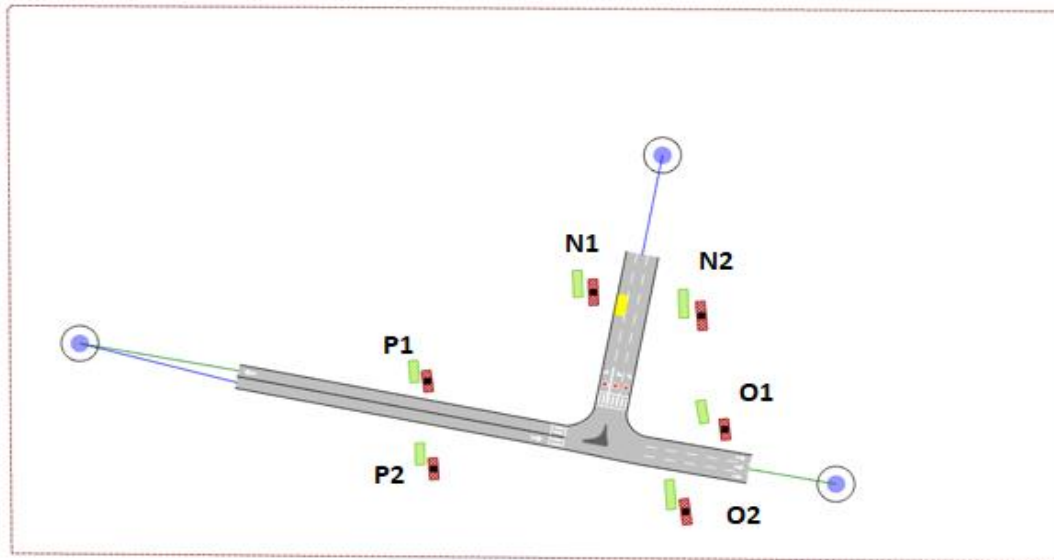


Figura Anexo 23. Captura desde AIMSUN NG, muestra modelo con centroides peatonales. Fuente: Elaboración propia.

Matriz OD de Peatonales: 3733, Nombre: Matriz OD Peatonales PM {eb070252-395a-4490-bc9e-e0120aa9f528}

Principal Celdas Histograma Asignación de caminos Parámetros

Cabeceras: ID: Nombre Agrupación: Ninguno

Permitir Valores Negativos Ocultar Filas Vacías Ocultar Columnas Vacías

	3724: SO2	3727: SN1	3728: SN2	3730: SP1	3732: SO1	3786	Total
3716: EP2	250	34	14	7	14	2	321
3723: EO2		62	10	13		2	137
3725: EN1	22		3	50	27	2	117
3726: EN2	4	3		2	75	2	95
3729: EP1	6	50	7		14	2	82
3731: EO1	4	5	15	1		2	30
Total	286	154	49	73	130	12	782

Alighting Distribution (in %)

	3717: SP2	3724: SO2	3727: SN1	3728: SN2	3730: SP1	3732: SO1	3786	Total
3784	30	30	10	10	10	10		100

Operación: Ninguno

Esta operación no se permite cuando una Agrupación está seleccionada.

Ayuda Duplicar Aceptar Cancelar

Figura Anexo 24. Captura desde AIMSUN NG, muestra Matriz OD peatonal en horario Punta Mañana. Fuente: Elaboración propia.

Se debe ingresar las rutas para cada conexión entre Centroides. Si existen elementos en la ruta, estos deben ser marcados (pasos peatonales). Procedimiento análogo para cada ruta y para cada horario punta analizado. Una vez definida las rutas, se debe configurar en la matriz OD los porcentajes de ocupación de las rutas. En este caso, dada la configuración de la intersección,

cada origen-destino posee sólo una ruta obligada, por lo cual es 100% la distribución para cada camino.

Con la información levantada en terreno y recopilada de los organismos públicos, se procede a configurar las líneas de transporte público para simular los flujos de locomoción colectiva. Estas líneas solo aplican a taxi buses, dado que son estos los que pasan con determinada frecuencia por la intersección. Si bien los taxis colectivos también poseen ruta fija, poseen a su vez muchas variantes por recorrido, ya que su principal eje de ruta no es por vías predeterminadas si no por zona o sector, además, su frecuencia es irregular, dado que, los colectiveros modifican las trayectorias en horarios punta eligiendo vías alternativas para acortar los viajes. Para el caso en estudio, existen dos rutas que pasan por la intersección. Estas rutas, son ingresadas al programa como se puede ver a continuación.

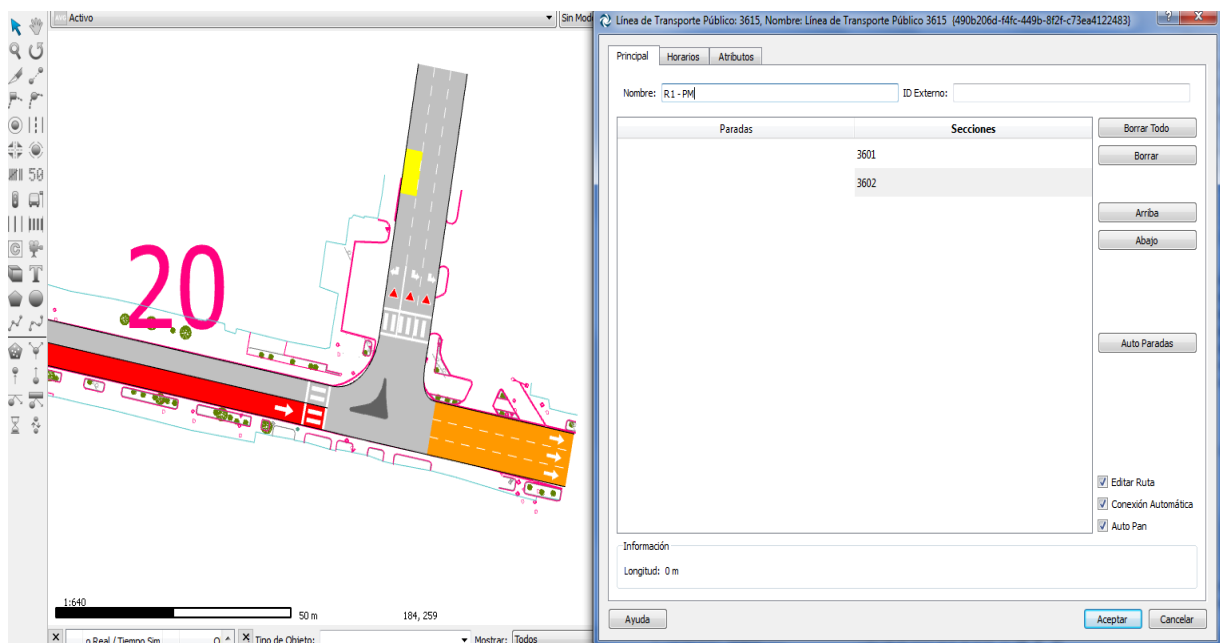


Figura Anexo 25. Captura desde AIMSUN NG, muestra cómo se configuran. Fuente: Elaboración propia.

Se marca los carriles según recorrido. Si en este recorrido existe paradero, deben ser considerados con el respectivo tiempo de parada, que, según lo observado en terreno, la detención de estos demora en promedio 15 segundos. Para determinar el intervalo (frecuencia) con el cual los taxi buses (según período PM, PMD o PT) realizan su recorrido, se debe considerar los flujos medidos en terreno que se encuentran resumidos en el Anexo B.

- Verificación del Modelo

Para verificar que el modelo se reproduzca adecuadamente, tanto desde la perspectiva de la geometría como del movimiento vehicular, se debe efectuar una simulación visual con la finalidad de identificar irregularidades en la modelación. Entonces, es necesario realizar una

corrida de simulación en cada período de análisis. Para ello, se debe configurar un escenario dinámico en el cual se correlacione los planes asociados a la construcción del modelo (Plan de control, Plan de Transporte Público, Demanda de Tráfico, etc.). La siguiente figura permite observar que el modelo se reproduce satisfactoriamente y no muestra errores visibles.

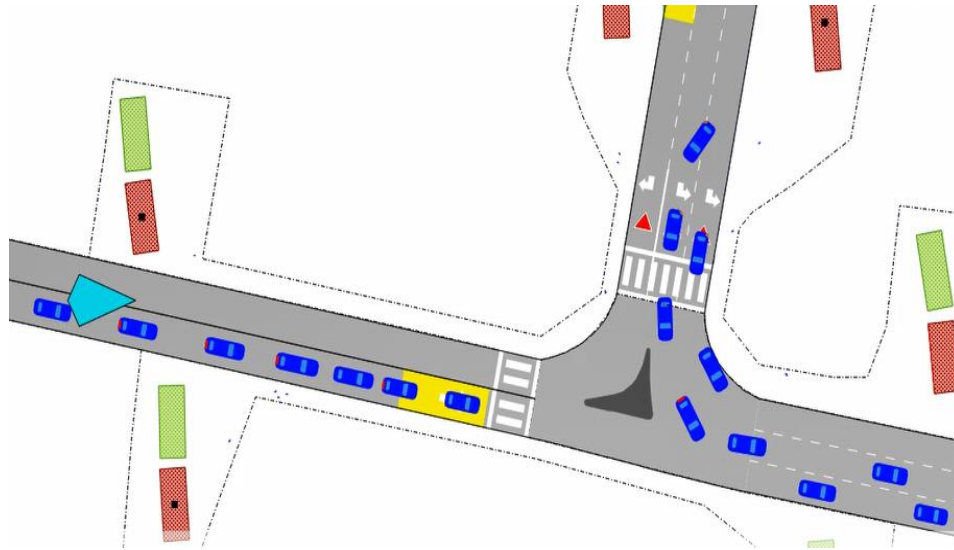


Figura Anexo 26. Captura desde AIMSUN NG. Simulación que busca verificar el modelo. Fuente: Elaboración propia.

- Calibración del Modelo

El modelo se calibra utilizando los parámetros GEH y Pearson. Ambos se calibran en función de los flujos simulados, los cuales se comparan con los flujos medidos en terreno. Con la finalidad de filtrar los resultados estocásticos de AIMSUN NG, se debe realizar una cantidad predeterminada de simulaciones (replicas) y considerar la media de estos como valor representativo. En este caso, se realizarán 10 réplicas. AIMSUN NG, tras la simulación, arroja una serie de Datos de Salida, los cuales deben ser exportados y ordenados en Excel. Considerar la nomenclatura que usa Aimsun para las secciones del caso estudio (ver siguiente figura).

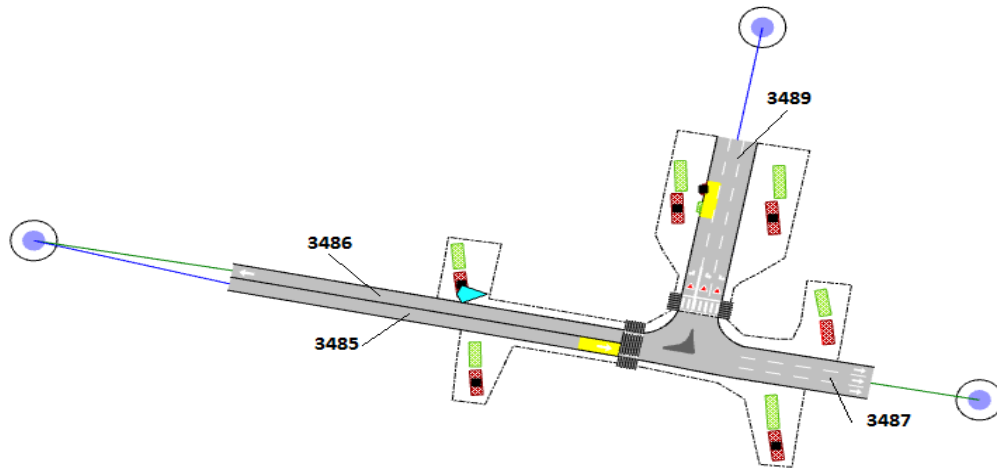


Figura Anexo 27. Captura desde AIMSUN NG. Nomenclatura secciones. Fuente: Elaboración propia.

La calibración se debe llevar a cabo para cada tipo de vehículo y para cada período de análisis. Para ejemplificar el procedimiento, se mostrará los resultados correspondientes a cada tipo de vehículo, pero en horario Punta Mañana (PM).

Tabla Anexo 25. Resultados GEH para vehículos Livianos PM. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Simulado	Medido	Diferencia	%	GEH
3485	466,9	453,0	-13,9	-3%	0,6
3486	140,8	130,0	-10,8	-8%	0,9
3487	697,4	695,0	-2,4	0%	0,1
3489	371,5	372,0	0,5	0%	0,0

Tabla Anexo 26. Resultados GEH para vehículos Taxis Colectivos PM. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Simulado	Medido	Diferencia	%	GEH
3485	28,4	29,0	0,6	2%	0,1
3486	22,4	10,0	-12,4	-55%	3,1
3487	93	112,0	19,0	20%	1,9
3489	87,2	93,0	5,8	7%	0,6

Tabla Anexo 27. Resultados GEH para vehículos Pesados PM. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Simulado	Medido	Diferencia	%	GEH
3485	4,1	3,0	-1,1	-27%	0,6
3486	4,1	1,0	-3,1	-76%	1,9
3487	12,3	13,0	0,7	6%	0,2
3489	12,2	11,0	-1,2	-10%	0,4

Tabla Anexo 28. Resultados GEH para vehículos Taxi Buses PM. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Simulado	Medido	Diferencia	%	GEH
3485	40,3	40,0	-0,3	-1%	0,0
3486	0	1,0	1,0	0%	1,4
3487	75,9	74,0	-1,9	-3%	0,2
3489	36	35,0	-1,0	-3%	0,2

Se observa que el simulador reprodujo los flujos adecuadamente (GEH < 5 en todas las secciones) por lo que no requiere mayores ajustes. Ahora se procede a analizar el grado de correlación entre los flujos medidos y simulados.

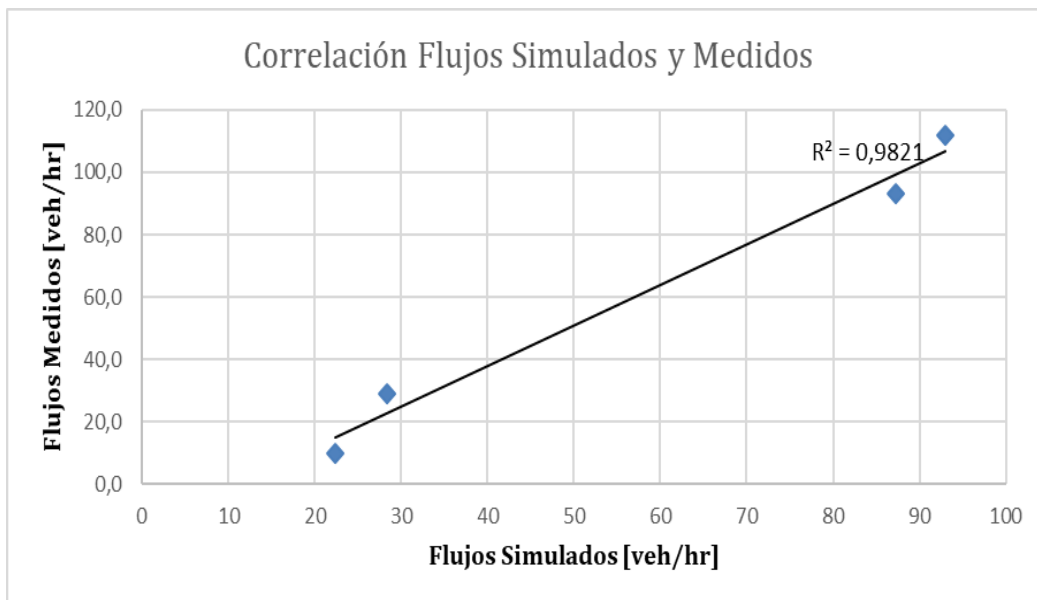


Figura Anexo 28. Curva correlación Flujos medidos y simulados para vehículos Livianos. Fuente: Elaboración propia.

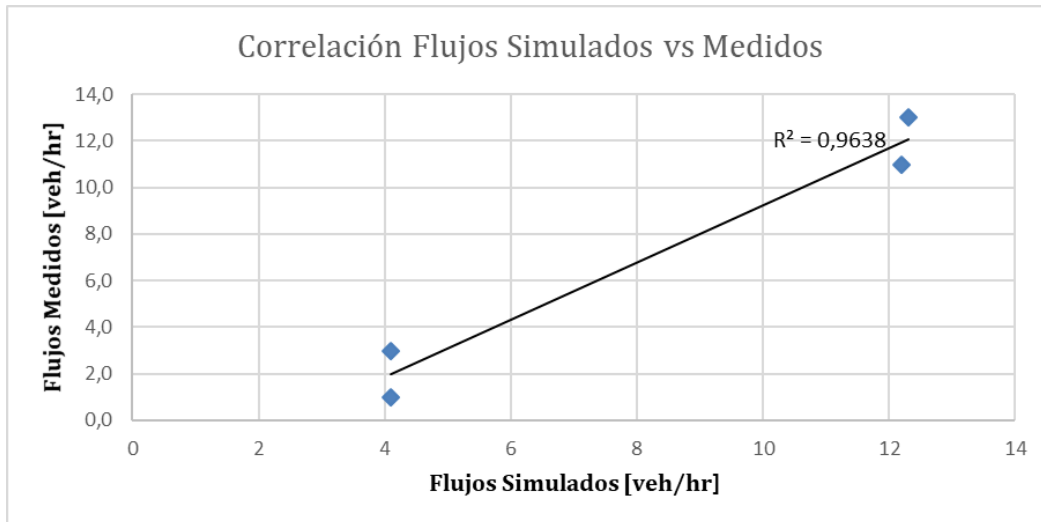


Figura Anexo 29. Curva correlación Flujos medidos y simulados para Taxis Colectivos. Fuente: Elaboración propia.

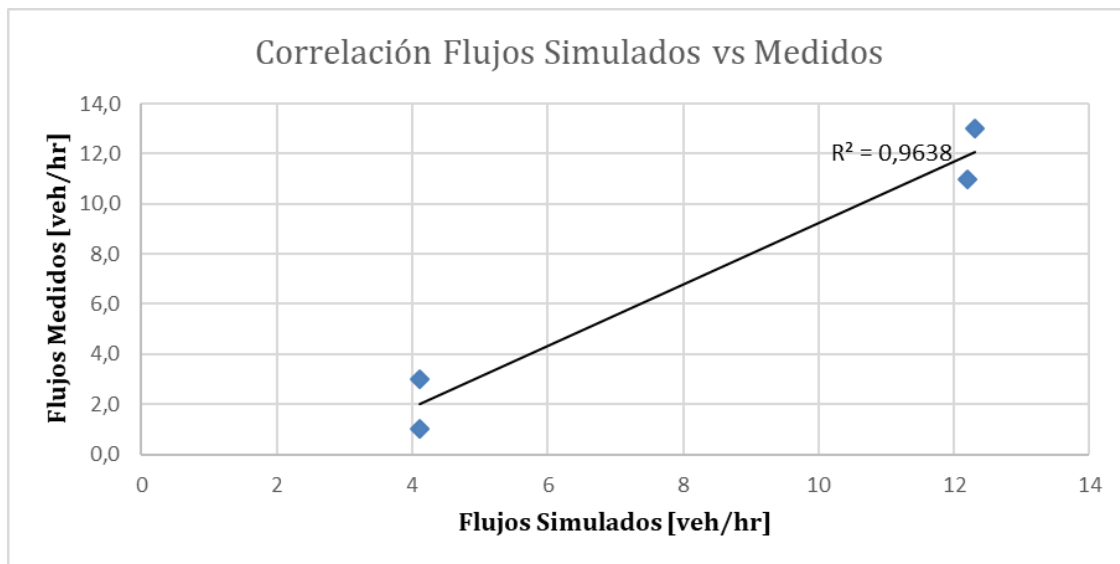


Figura Anexo 30. Curva correlación Flujos medidos y simulados para vehículos Pesados. Fuente: Elaboración propia.

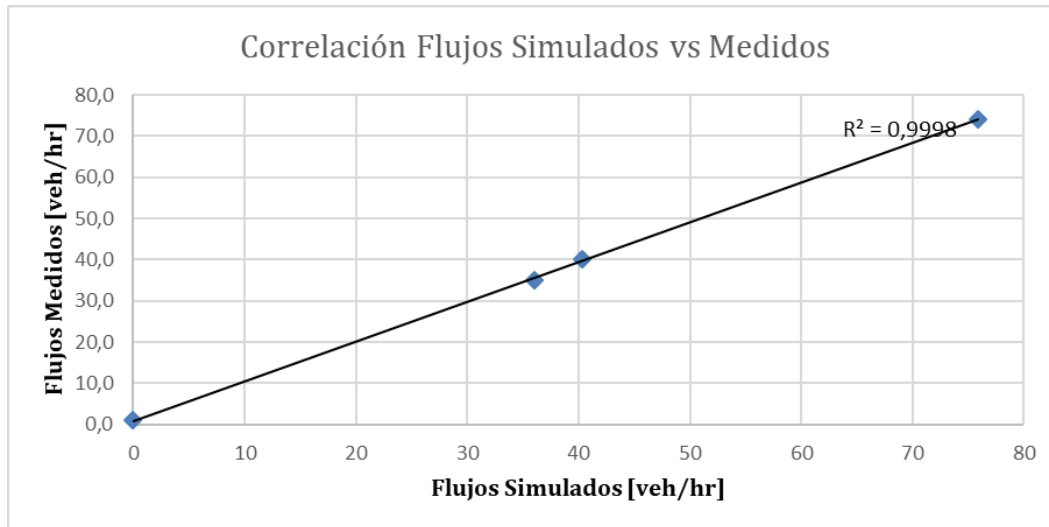


Figura Anexo 31. Curva correlación Flujos medidos y simulados para Taxi buses. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que los flujos medidos y simulados se encuentran linealmente relacionados ($R > 0,9$ en todos los casos), lo cual confirma nuevamente que la modelación representa la realidad.

- Validación del Modelo

La validación del modelo se realiza a partir de las mediciones de cola (Anexo B) y de velocidad. Tiene por finalidad comparar los resultados evaluados en terreno con los simulados. Los resultados que arroja AIMSUN NG para la Longitud de Cola, proviene de un método y análisis distinto del que describe el MESPIVU (en base a este último, se midió en terreno) por lo que la comparación debe ser netamente cualitativa (visual).

Conforme con los resultados de la medición de colas expresadas en el Anexo B y resumidas en la presente Memoria, para la Punta Mañana (Cola Media: 1,6; Cola Máxima: 5) se observa que los resultados son similares en orden de magnitud (ver siguiente figura).

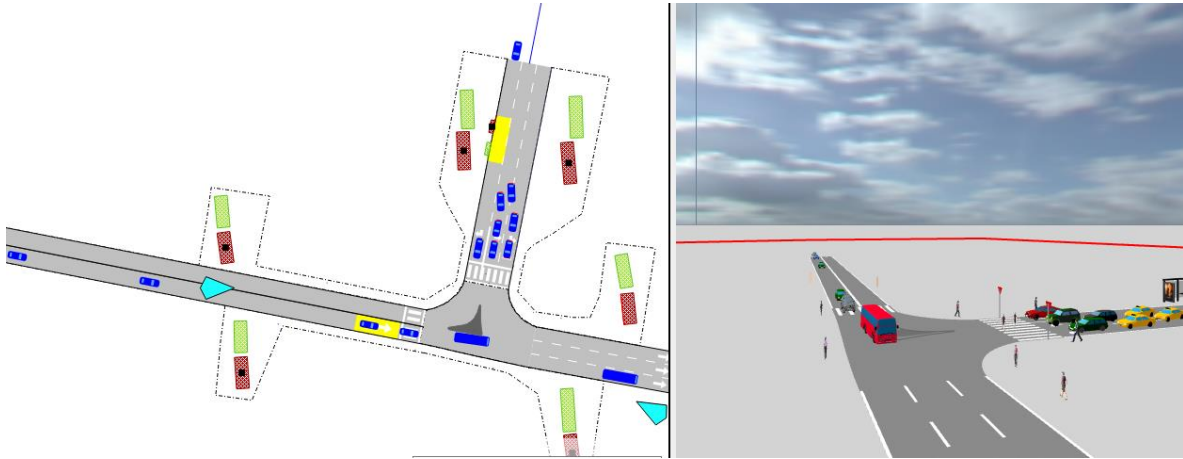


Figura Anexo 32. Captura desde AIMSUN NG. Cola pista central rama norte Punto 1. Fuente: Elaboración propia.

La imagen muestra una cola en la pista central de la rama norte del punto (calle San Bernardo) de 3 vehículos, lo cual representa lo observado en las simulaciones y se encuentra dentro del rango medido en terreno. En lo que respecta a la medición de velocidad, esta se realizó con la utilización de vehículo flotante (método descrito en MESPIVU) por medio de un vehículo liviano, por lo que se tiene únicamente datos de esta categoría de automóvil. Las velocidades medidas en cada ramal del punto y para cada período de análisis se presenta a continuación.

Tabla Anexo 29. Velocidades medidas (K/h) Punto 1. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Liv PM	Liv PMD	Liv PT	Promedio
3485	33,4	21,98	23,7	26,36
3486	33,68	32,58	28,32	31,53
3487	20,3	10,36	12,04	14,23
3489	18,06	14,84	17,54	16,81

Las velocidades simuladas en cada ramal del punto y para cada período de análisis se presenta a continuación.

Tabla Anexo 30. Velocidades simuladas (K/h) Punto 1. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Liv PM	Liv PMD	Liv PT	Promedio	Vel. Máx. Pista (K/h)
3485	15,61	17,84	12,09	15,18	30
3486	28,09	28,19	27,97	28,08	30
3487	14,79	14,83	14,81	14,81	15
3489	13,25	12,59	11,20	12,35	15

Se considera para el análisis comparativo las diferencias por sección de las velocidades simuladas y medidas. La siguiente tabla presenta los resultados descritos.

Tabla Anexo 31. Diferencias entre velocidades simuladas y medidas por sección en (K/h). Fuente: Elaboración propia.

Sección	Liv PM	Liv PMD	Liv PT
3485	17,79	4,14	11,61
3486	5,59	4,39	0,35
3487	5,51	-4,47	-2,77
3489	4,81	2,25	6,34

La sección que presenta una mayor diferencia de velocidad entre la medida y simulada en los períodos analizados corresponde a la 3485. En este tramo, la medición de velocidad entrega un valor mayor que la simulada evidenciando las mayores diferencias. Esto se debe, a que la medición en terreno se realizó entre las calles Purísima y San Bernardo, tramo que es significativamente mayor (en longitud) que el modelado, cuya velocidad medida es la representativa al tramo completo, mientras que la simulada representa la porción final de esta en la cual, las velocidades de los vehículos son menores producto que llegan a la intersección disminuyendo su velocidad (eventual detención). En otras palabras, los carriles que realmente deben ser similares en la simulación a los medidos son los tramos 3487 y 3489 ya que la modelación considera la misma longitud de tramo de vía medido en terreno, lo cual se reproduce correctamente (diferencias menores). Por otro lado, cabe destacar, que el hecho que a los carriles 3485 y 3486 se les permita velocidades de 30 k/h y aun así el programa no lo reproduzca, indica que el software entiende correctamente que al llegar a una intersección la velocidad debe ser baja independiente de lo permitido. Finalmente, tras la validación, se concluye que el modelo entrega resultados confiables de simulación.

B. Punto 02 – Los Héroes con 21 de Mayo, Calbuco

- Construcción del Modelo

Al igual que en el Punto 01, para concretar el dibujo, se debe contar con la topografía en planos formato CAD. Luego, se configura el número de pistas, anchos y nudos junto con la regulación correspondiente.

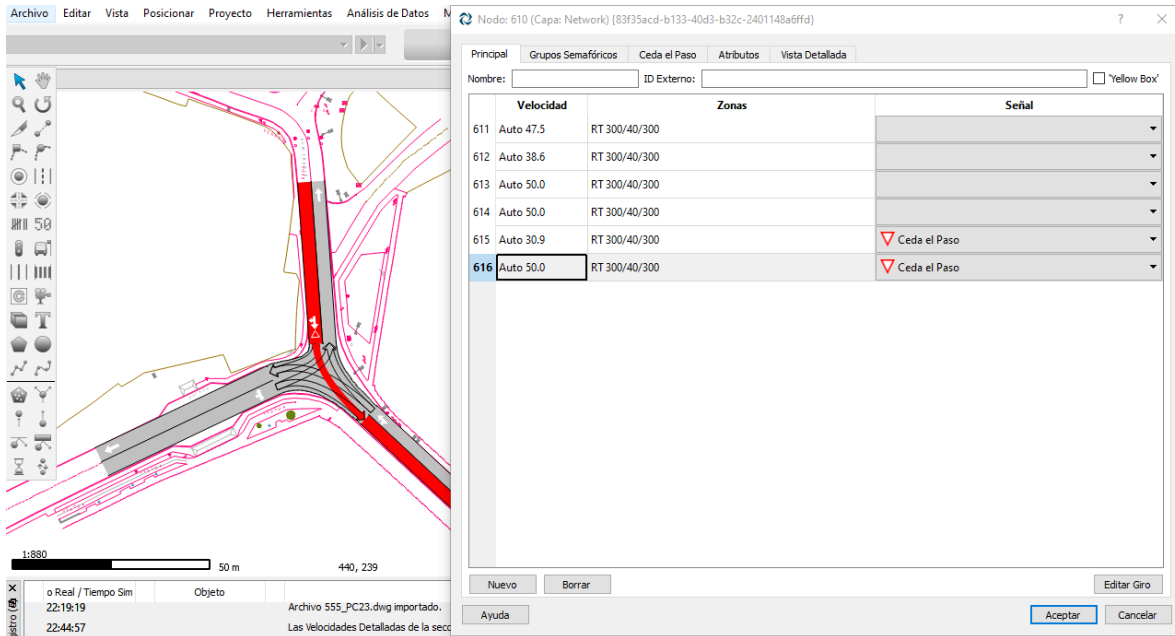


Figura Anexo 33. Captura desde AIMSUN NG. Configuración Nudo. Fuente: Elaboración propia.

Pasos peatonales, bahías y paraderos deben ser creados también. En relación con la tipología de vehículos configurada, se consideró la clasificación mencionada para el Punto 1:

- Livianos
- Taxis colectivos
- Taxi buses
- Pesados (Hace referencia a camiones y buses interurbanos).

En virtud de ingresar los datos de demanda de tráfico, estos, se realizarán por medio de estados de tráfico que corresponde a una manera alternativa de ingresar los flujos conforme a los giros permitidos, distribución porcentual y no requiere de la creación de centroides. Los datos que completan los estados de tráfico se extraen a partir de las mediciones de flujos realizadas en terreno, cuyos resultados presentados en la sección Anexo B de la presente Memoria, se ingresan para cada tipo de vehículo, por cada movimiento predefinido y por cada período punta analizado. A continuación, se presentan imágenes que corresponden a capturas desde AIMSUN NG y que muestran la construcción del modelo y un ejemplo de estado de tráfico ingresado (Livianos Punta Mañana).

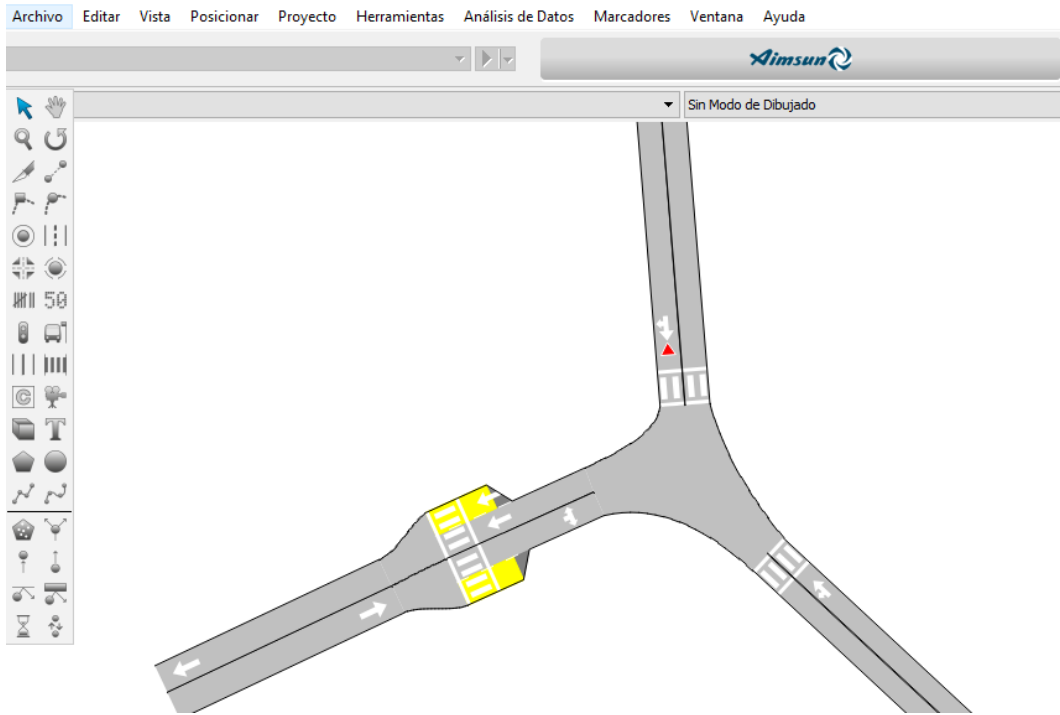


Figura Anexo 34. Captura desde AIMSUN NG. Modelo Punto 2. Fuente: Elaboración propia.

Estado de Tráfico: 667, Nombre: Liv PM {cdac121a-7131-4689-91fd-830de1f5d401}

Principal Parámetros

Nombre: Liv PM ID Externo:

Tipo de Vehículo: 58: Livianos Propósito de Viaje: Ninguno

Cabeceras: ID: Nombre (ID Externo) Desde: 7:45:00 Duración: 01:00:00

Flujo de entrada Información del Giro

Resaltar definiciones incorrectas Copiar Pegar Usar Giros de Entrada

Mostrar Todas las Secciones Recalcular Porcentajes de Giro usando los Flujos de Salida

Secciones del Giro	Porcentaje de Giro	Flujo en el Giro (veh/h)
575 hasta 576	26.3427	103
575 hasta 621	73.6573	288
577 hasta 621	0	0
577 hasta 574	100	32
607 hasta 574	99.8062	515
607 hasta 576	0.193798	1

Ayuda Aceptar Cancelar

Figura Anexo 35. Captura desde AIMSUN NG. Matriz OD para vehículos Livianos en Punta Mañana. Fuente: Elaboración propia.

La información ingresada al estado de tráfico es coherente con los flujos medidos según movimiento permitido respetando la direccionalidad de las vías. Peatones no serán microsimulados producto que los flujos de estos son menores y no inciden significativamente en la operatividad del punto.

Con la información levantada en terreno y recopilada de los organismos públicos, se procede a configurar las líneas de transporte público para simular los flujos de locomoción colectiva. Estas líneas aplican a taxi buses, dado que son estos los que pasan con determinada frecuencia por la intersección. Para el caso de estudio, existen dos rutas que pasan por la intersección. Estas rutas, son ingresadas al programa como se puede ver a continuación.

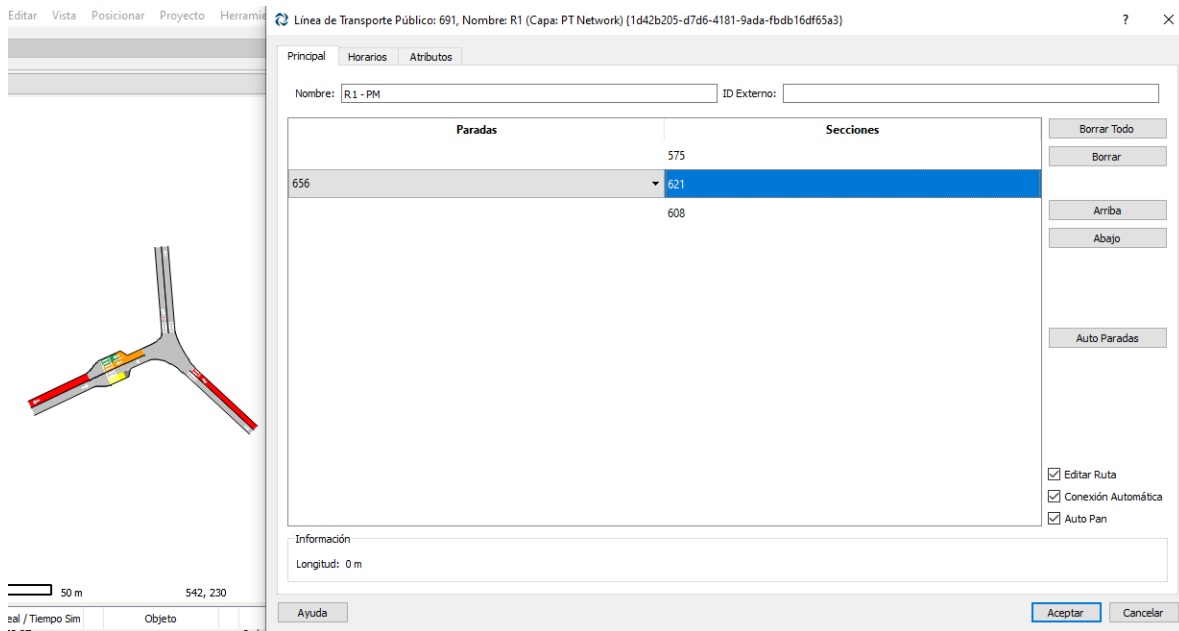


Figura Anexo 36. Captura desde AIMSUN NG, muestra cómo se configuran. Fuente: Elaboración propia.

Se marca los carriles según recorrido. Si en este recorrido existe paradero, deben ser considerados con el respectivo tiempo de parada, que, según lo observado en terreno, la detención de estos demora en promedio 15 segundos. Para determinar el intervalo (frecuencia) con el cual los taxis buses (según período PM, PMD o PT) realizan su recorrido, se debe considerar los flujos medidos en terreno que se encuentran resumidos en el Anexo B.

- Verificación del Modelo

Para verificar que el modelo se reproduzca adecuadamente, tanto desde la perspectiva de la geometría como del movimiento vehicular, se debe efectuar una simulación visual con la finalidad de identificar irregularidades en la modelación. Entonces, es necesario realizar una corrida de simulación en cada período de análisis. Para ello, se debe configurar un escenario dinámico en el cual se correlacione los planes asociados a la construcción del modelo (Plan de

control, Plan de Transporte Público, Demanda de Tráfico, etc.). La siguiente figura permite observar que el modelo se reproduce satisfactoriamente y no muestra errores visibles.

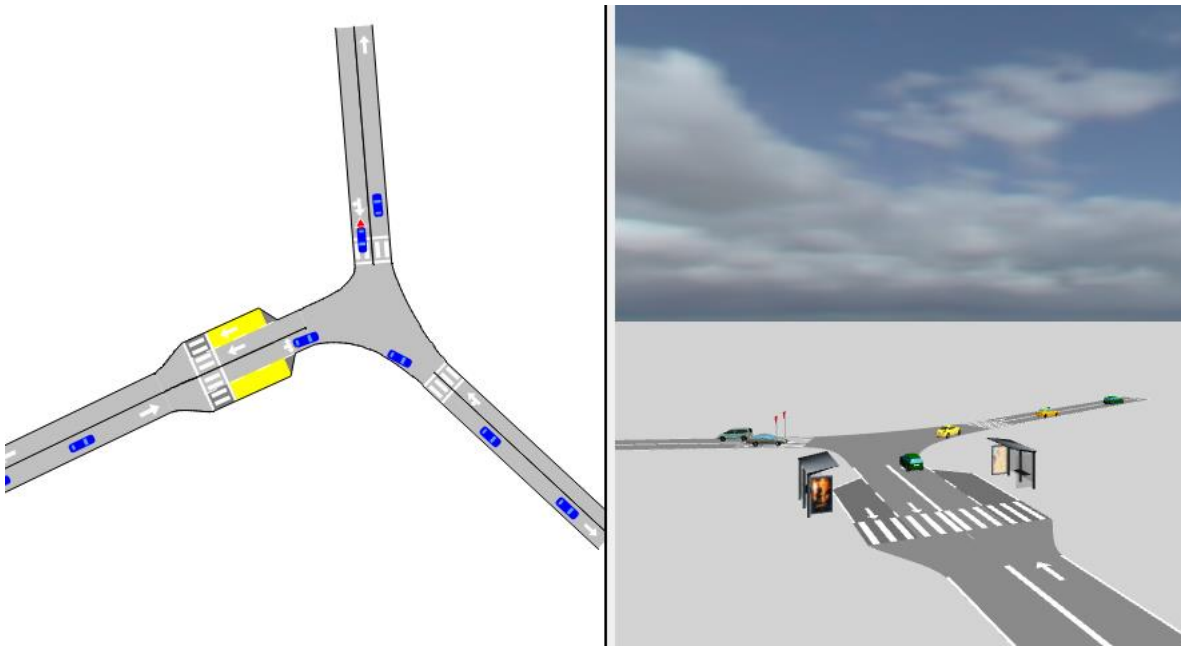


Figura Anexo 37. Captura desde AIMSUN NG. Simulación que busca verificar el modelo. Fuente: Elaboración propia.

- Calibración del Modelo

Al igual que en el Punto 1, el modelo se calibra utilizando los parámetros GEH y Pearson. Ambos se calibran en función de los flujos simulados, los cuales se comparan con los flujos medidos en terreno. También se considerará 10 réplicas para filtrar los efectos estocásticos. Considerar la nomenclatura que usa AIMSUN para las secciones del caso estudio (ver siguiente figura).

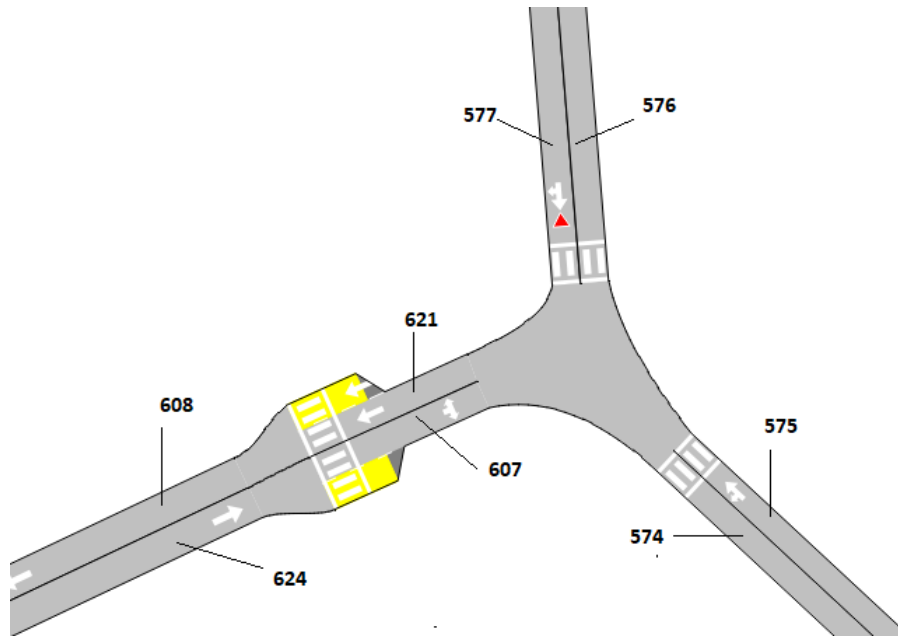


Figura Anexo 38. Captura desde AIMSUN NG. Nomenclatura secciones. Fuente: Elaboración propia.

La calibración se debe llevar a cabo para cada tipo de vehículo y para cada período de análisis. Para ejemplificar el procedimiento, se mostrará los resultados correspondientes a cada tipo de vehículo, pero en horario Punta Mañana (PM).

Tabla Anexo 32. Resultados GEH para vehículos Livianos PM. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Simulado	Medido	Diferencia	%	GEH
574	547,8	547,0	-0,8	0%	0,0
575	399,3	391,0	-8,3	-2%	0,4
576	106,4	104,0	-2,4	-2%	0,2
577	32,5	32,0	-0,5	-2%	0,1
607	516,9	516,0	-0,9	0%	0,0
608	293,9	288,0	-5,9	-2%	0,3
621	293,9	288,0	-5,9	-2%	0,3
624	516,9	516,0	-0,9	0%	0,0

Tabla Anexo 33. Resultados GEH para vehículos Taxis Colectivos PM. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Simulado	Medido	Diferencia	%	GEH
574	95	99,0	4,0	4%	0,4
575	94,8	95,0	0,2	0%	0,0
576	33,1	34,0	0,9	3%	0,2
577	4,5	4,0	-0,5	-11%	0,2
607	92,8	97,0	4,2	5%	0,4
608	63,2	63,0	-0,2	0%	0,0
621	63,3	63,0	-0,3	0%	0,0
624	92,8	97,0	4,2	5%	0,4

Tabla Anexo 34. Resultados GEH para vehículos Pesados PM. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Simulado	Medido	Diferencia	%	GEH
574	28,6	28,0	-0,6	-2%	0,1
575	27,2	28,0	0,8	3%	0,2
576	3,7	4,0	0,3	8%	0,2
577	0	0,0	0,0	0%	0,0
607	28,6	28,0	-0,6	-2%	0,1
608	23,5	24,0	0,5	2%	0,1
621	23,5	24,0	0,5	2%	0,1
624	28,6	28,0	-0,6	-2%	0,1

Tabla Anexo 35. Resultados GEH para vehículos Taxi Buses PM. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Simulado	Medido	Diferencia	%	GEH
574	30,9	29,0	-1,9	-6%	0,3
575	22,7	22,0	-0,7	-3%	0,1
576	0	0,0	0,0	0%	0,0
577	0	0,0	0,0	0%	0,0
607	30,9	29,0	-1,9	-6%	0,3
608	22,3	22,0	-0,3	-1%	0,1

621	22,5	22,0	-0,5	-2%	0,1
624	31	29,0	-2,0	-6%	0,4

Se observa que el simulador reprodujo los flujos adecuadamente (GEH < 5 en todas las secciones) por lo que no requiere mayores ajustes. Ahora se procede a analizar el grado de correlación entre los flujos medidos y simulados.

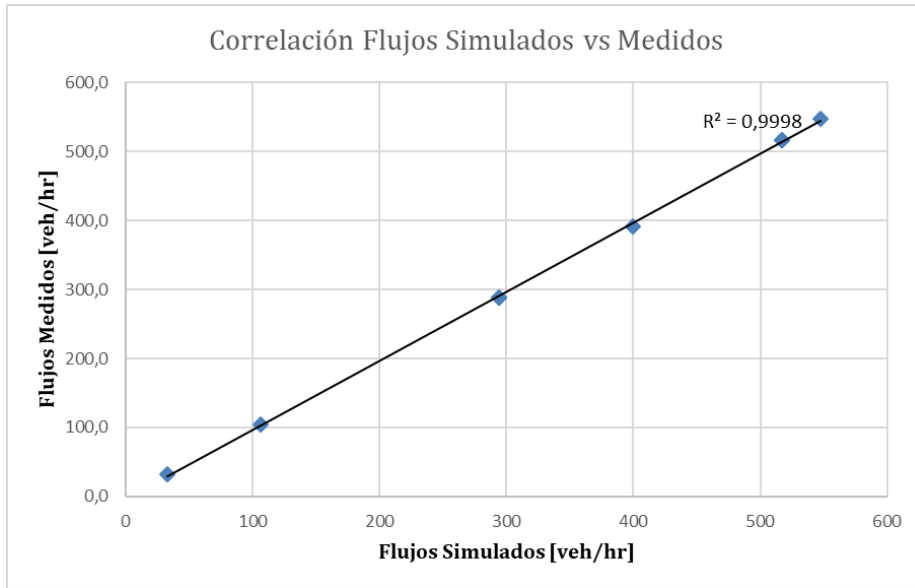


Figura Anexo 39. Curva correlación Flujos medidos y simulados para vehículos Livianos. Fuente: Elaboración propia.

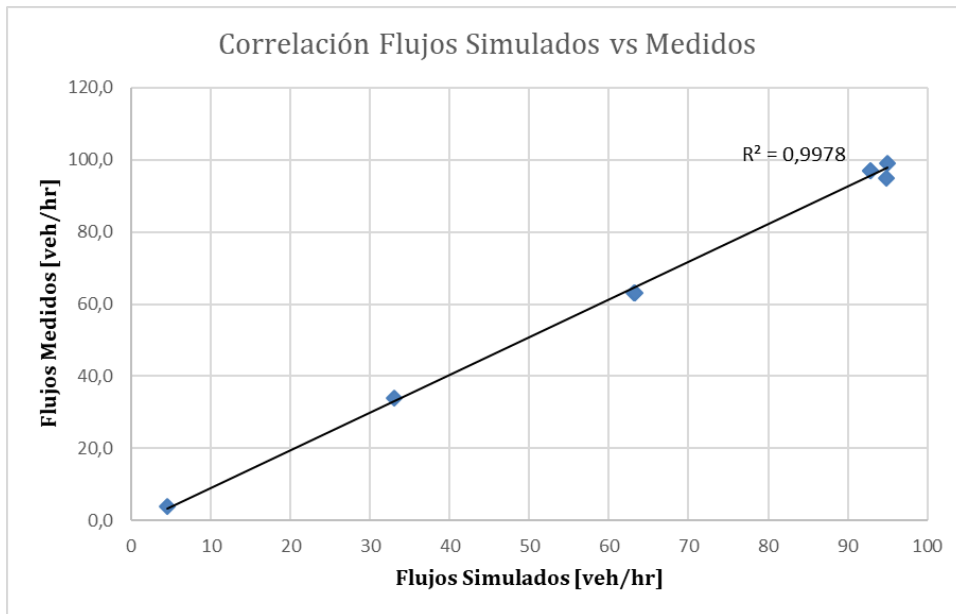


Figura Anexo 40. Curva correlación Flujos medidos y simulados para Taxis Colectivos. Fuente: Elaboración propia.

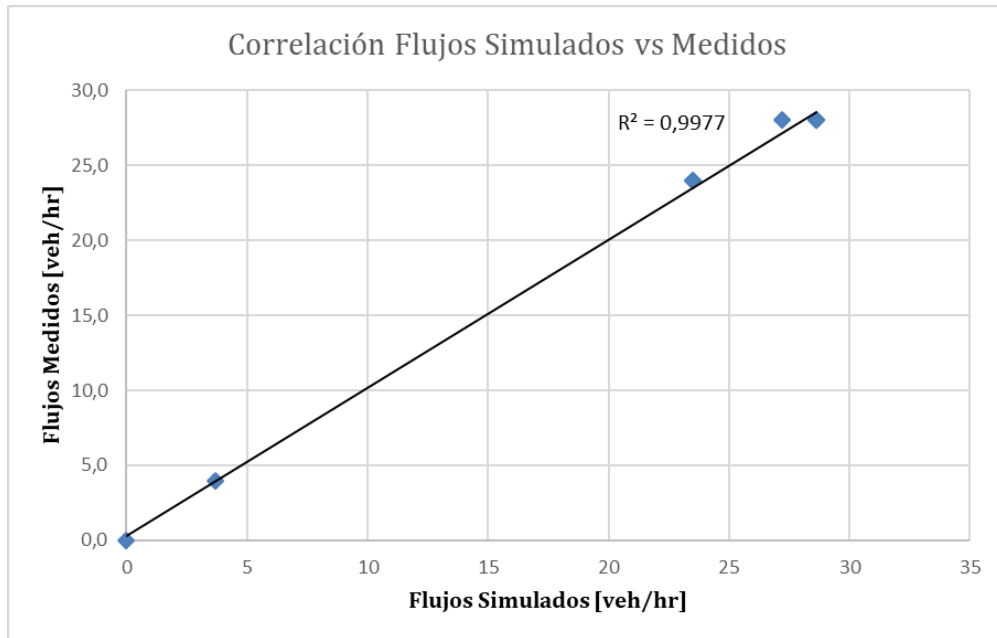


Figura Anexo 41. Curva correlación Flujos medidos y simulados para vehículos Pesados. Fuente: Elaboración propia.

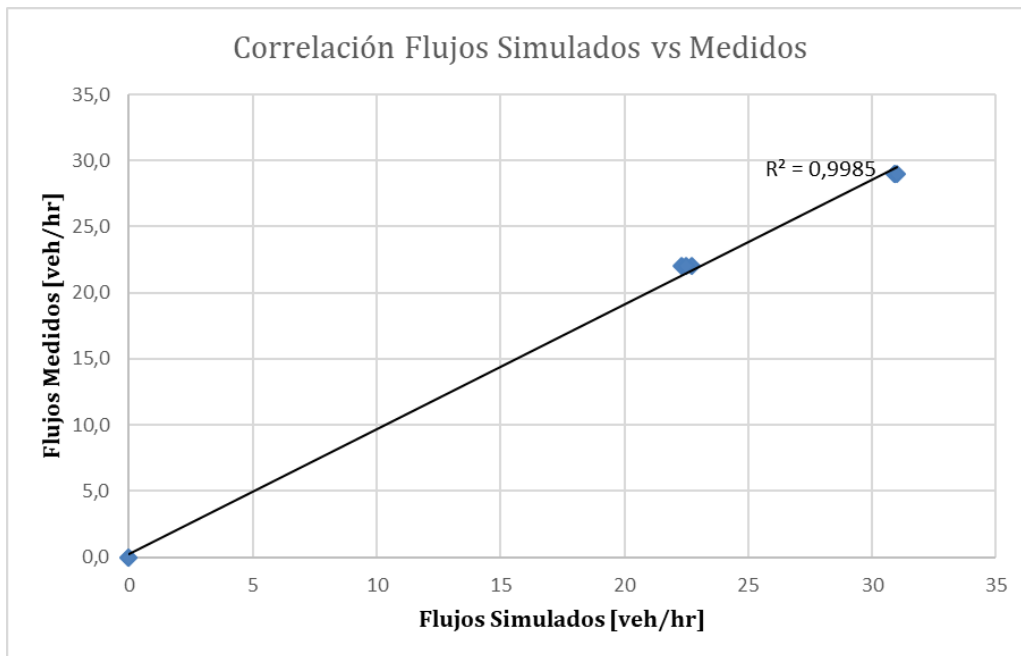


Figura Anexo 42. Curva correlación Flujos medidos y simulados para Taxi buses. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que los flujos medidos y simulados se encuentran linealmente relacionados ($R > 0,9$ en todos los casos), lo cual confirma nuevamente que la modelación representa la realidad.

- Validación del Modelo

La validación del modelo se realiza a partir de las mediciones de cola (Anexo B) y de velocidad. Sin embargo, para este punto, se tiene únicamente mediciones de cola. La validación tiene por finalidad comparar los resultados evaluados en terreno con los simulados. Los resultados que arroja AIMSUN NG para la Longitud de Cola, proviene de un método y análisis distinto del que describe el MESPIVU (en base a este último, se midió en terreno) por lo que la comparación debe ser netamente cualitativa (visual).

Conforme con los resultados de la medición de colas expresadas en el Anexo B y resumidas en la presente Memoria, para la Punta Mañana (Cola Media: 0,3; Cola Máxima: 3) se observa que los resultados son similares en orden de magnitud (ver siguiente figura).

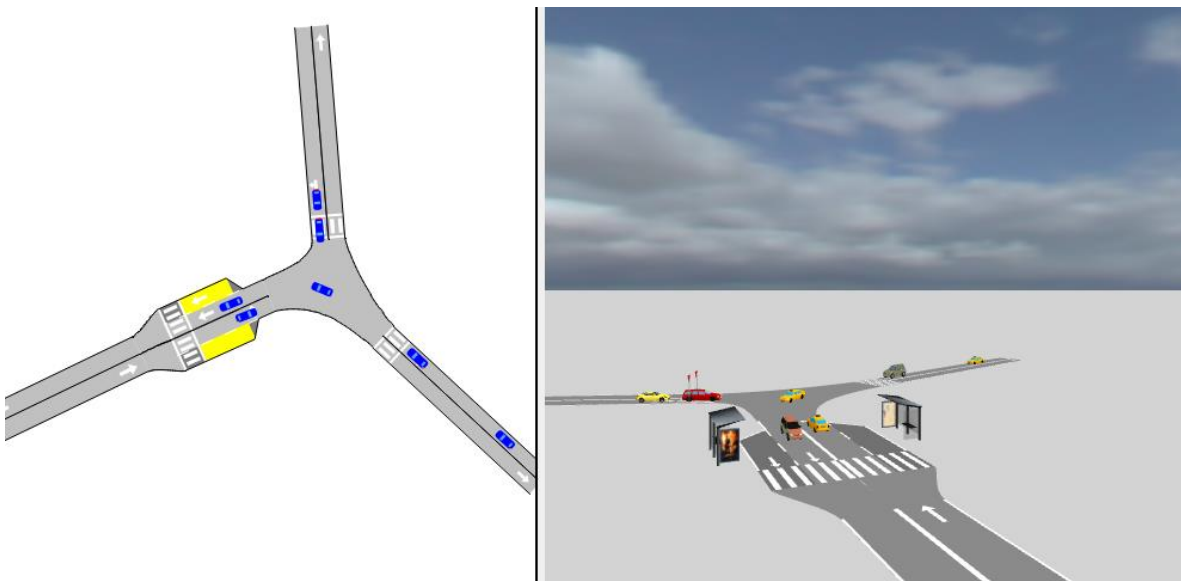


Figura Anexo 43. Captura desde AIMSUN NG. Cola pista central rama norte Punto 1. Fuente: Elaboración propia.

La imagen muestra una cola en la pista de la rama norte del punto (calle Los Héroes) de 2 vehículos, lo cual representa lo observado en las simulaciones y se encuentra dentro del rango medido en terreno. La validación permite concluir que el modelo entrega resultados confiables de simulación.

11.2.2 Escenario con Proyecto

A. Punto 01 – Del Salvador con San Bernardo, Puerto Varas.

- Construcción del Modelo

Para construir el modelo de la situación con proyecto, se debe poseer las soluciones dibujadas en un plano (de preferencia formato CAD). Sobre este, se puede dibujar en AIMSUN NG la geometría de los arcos y nudos. En la presente Memoria, específicamente en la sección Proyectos Definitivos del caso estudio, se presenta el Proyecto de Seguridad Vial, mediante el cual se basará la modelación de este escenario. A continuación, las siguientes figuras presentan la construcción del modelo y configuración del nudo.

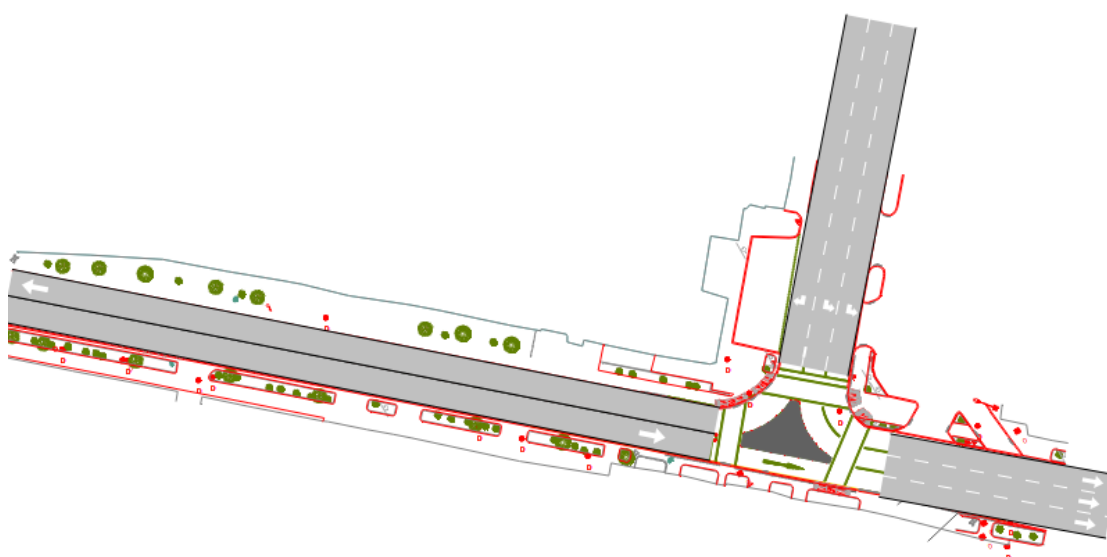


Figura Anexo 44. Captura desde AIMSUN NG. Modelo Punto 1 con Proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que la configuración de los nodos cambia. Ahora la pista ubicada en la rama poniente de la intersección (Del Salvador en dirección oriente) sólo tiene conexión con la pista sur oriente de la intersección, lo mismo para las pistas unidireccionales de San Bernardo (al norte de la intersección), ellas sólo tienen acceso a las pistas superiores de la rama oriente (Del Salvador).

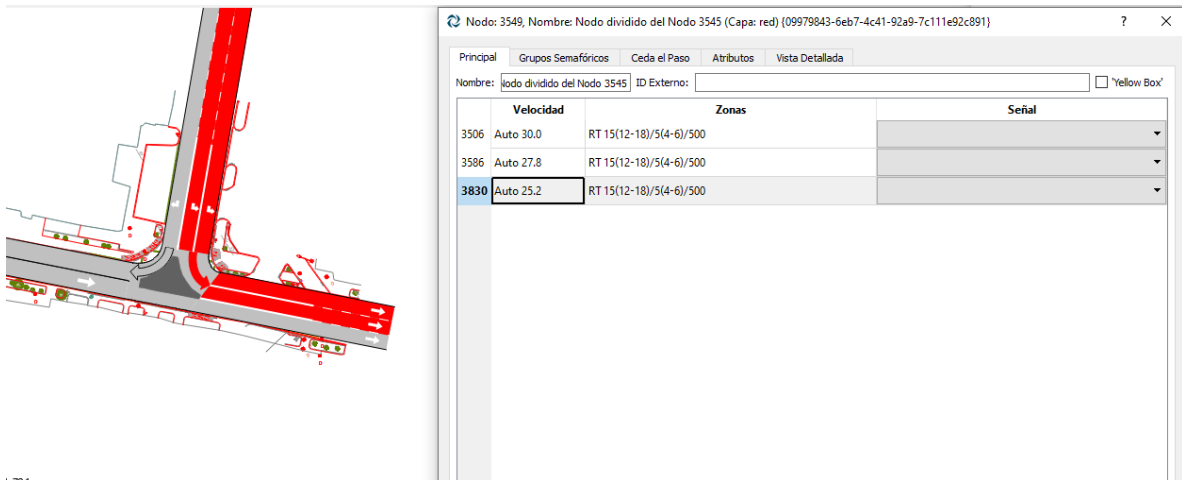


Figura Anexo 45. Captura desde AIMSUN NG. Configuración Nudo Punto 1 con Proyecto. Fuente: Elaboración propia.

La nueva operatividad del punto se rige en base a lo que indica el Proyecto de Semaforización. Por lo cual, se empleará un grupo semafórico que controle los movimientos. Conforme al Proyecto de Semaforización, los semáforos tendrán dos fases, una en la cual se permite la circulación de los vehículos que provienen de todas las ramas, y otra donde permite la circulación de los peatones en todas direcciones (todo rojo). Los ciclos semafóricos se determinan en función de considerar tiempos en verde que sean suficientes para disipar las colas (que no exista cola excedente).

La tipología de vehículos empleada corresponde a la misma considerada en la modelación del escenario actual. La demanda de tráfico se ingresa mediante Matriz O-D, la cual requiere primeramente de la configuración de centroides que representan entrada y salida de vehículos. La siguiente imagen muestra los centroides creados.



Figura Anexo 46. Captura desde AIMSUN NG. Centroides Punto 1 con Proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Al interior de la matriz deben ir los flujos. Los cuales son invariantes en relación con la simulación de la situación actual y corresponde a los medidos en terreno y presentados en el Anexo B. A modo de ejemplo, se presenta la matriz OD de los vehículos livianos en horario Punta Mañana.

	3672	3673	3674	Total
3672			453	453
3673	130		242	372
3674				
Total	130		695	825

Figura Anexo 47. Captura desde AIMSUN NG. Matriz OD Punto 1 con Proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Los casilleros en blanco corresponden a flujo 0, esto, porque el modelo respeta la direccionalidad de las vías configuradas. Para el ingreso de Peatones el procedimiento es más complejo. Se utilizará el software comercial LEGION (Extensión de AIMSUN NG). Primeramente, se define un área de peatones, y luego entradas y salidas de estos (centroides), seguido por el ingreso de Matriz OD de peatones y las rutas a definir.

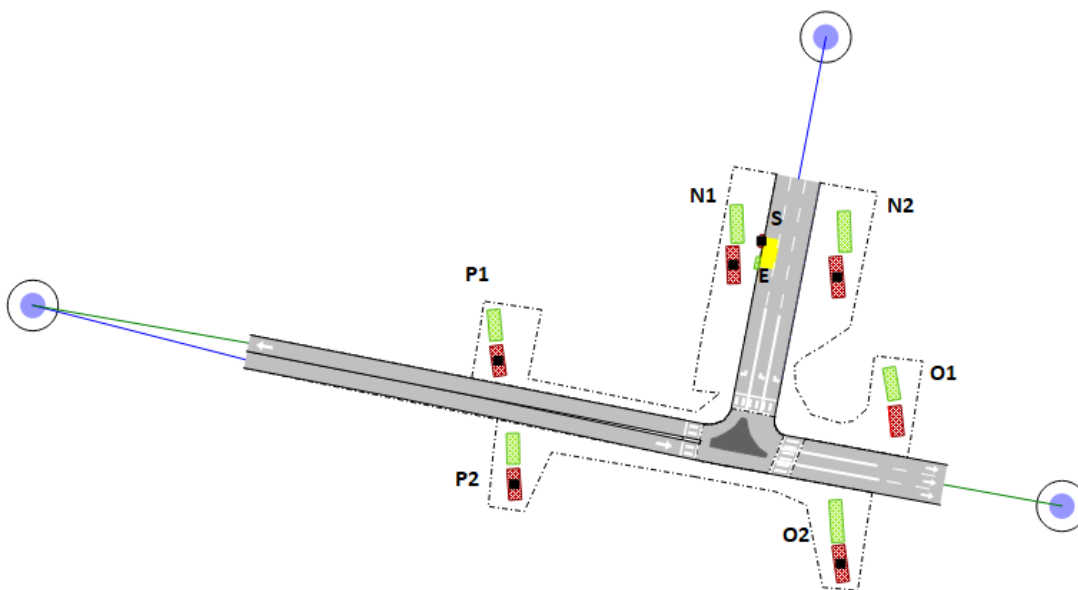


Figura Anexo 48. Captura desde AIMSUN NG. Modelo Punto 1 con Proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Para ingresar estos flujos al software, se debe hacer por medio de matriz OD considerando que se distribuyen entre los distintos Centroides creados (entradas y salidas). Estas matrices OD quedan conformadas de igual manera que la situación sin proyecto, dado que los centroides se mantienen. A modo de ejemplo, se presenta una de las matrices OD correspondiente al horario Punta Mañana (para cada período de análisis debe existir una matriz).

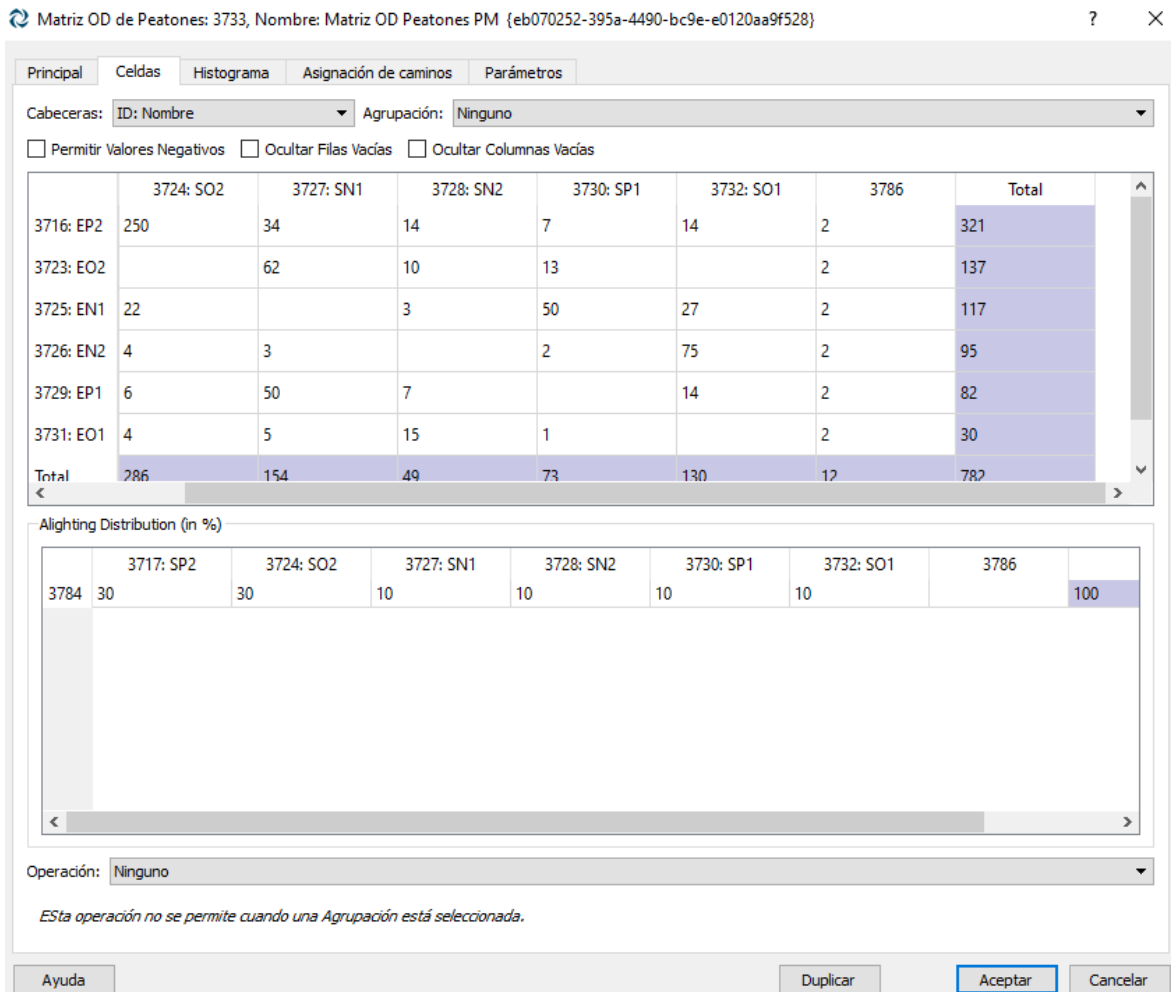


Figura Anexo 49. Captura desde AIMSUN NG. Matriz OD Peatones Punto 1 con Proyecto. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las rutas, estas si cambian en relación con la situación actual, dado que ahora existe un nuevo paso peatonal, por lo que se agregan opciones a los peatones que quieren llegar a un cierto centroide de destino. Se debe ingresar las rutas para cada conexión entre Centroides y la distribución porcentual de estos.

Finalmente, tras un proceso de iteración, se considera los siguientes tiempos semafóricos.

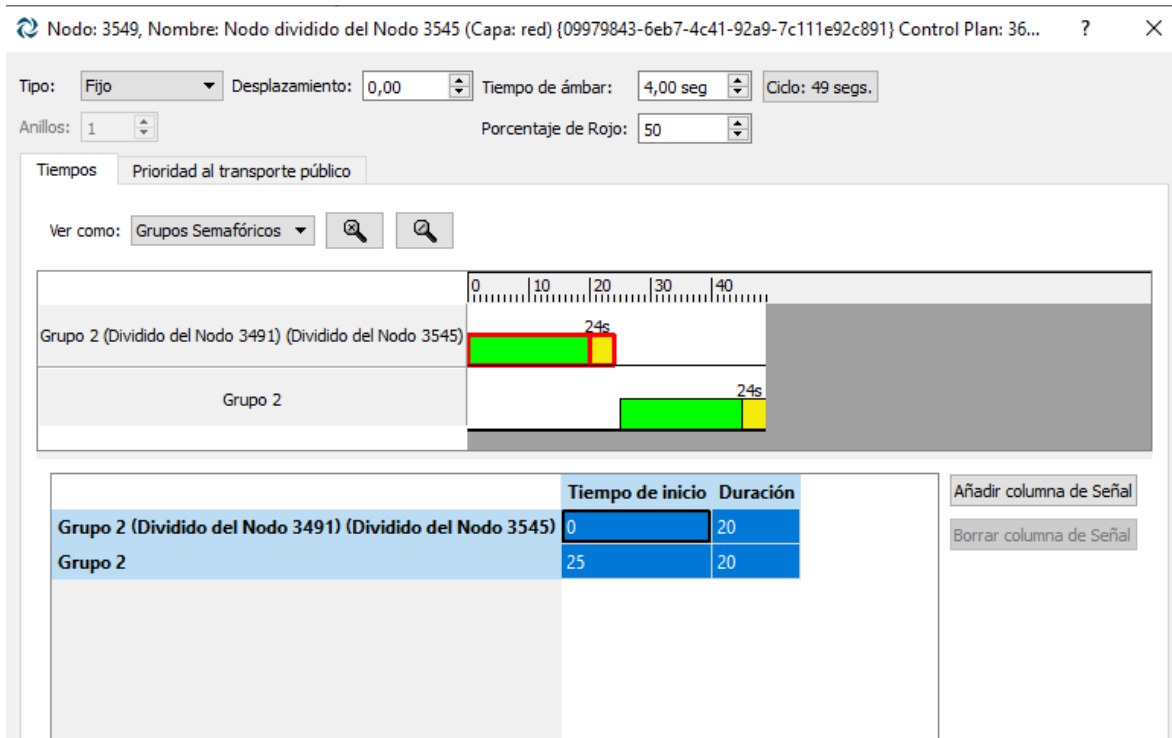


Figura Anexo 50. Captura desde AIMSUN NG. Configuración de fases Punto 1 con Proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Cada fase posee 20 segundos de duración en verde y se considera 4 segundos de tiempo ámbar (tiempo en “amarillo”).

En relación con el transporte público y considerando el caso en estudio, existen dos rutas que pasan por la intersección, correspondiente a la que proviene de la rama norte de la intersección (San Bernardo) que posee paradero formal el cual se seguirá usando, y la ruta que proviene de la rama poniente en dirección oriente (Del Salvador) pero que se prohibirá con la incorporación de los semáforos la parada informal que se utilizaba a puertas del paso peatonal. Al igual que en el caso sin proyecto, la frecuencia de los recorridos se calcula a partir de las mediciones de flujo para taxi buses presentados en el Anexo B de la presente Memoria.

- Verificación del Modelo

De la misma manera que en la situación actual, se debe verificar que el modelo se reproduzca correctamente sin irregularidades en el movimiento vehicular y tampoco en la geometría. Para lo anterior, se requiere generar escenarios dinámicos en conjunto de una simulación animada para verificar el funcionamiento. Se consideró un escenario de 10 réplicas para filtrar los efectos de los modelos estocásticos que gobiernan la microsimulación. En la siguiente imagen se observa que el modelo funciona correctamente.

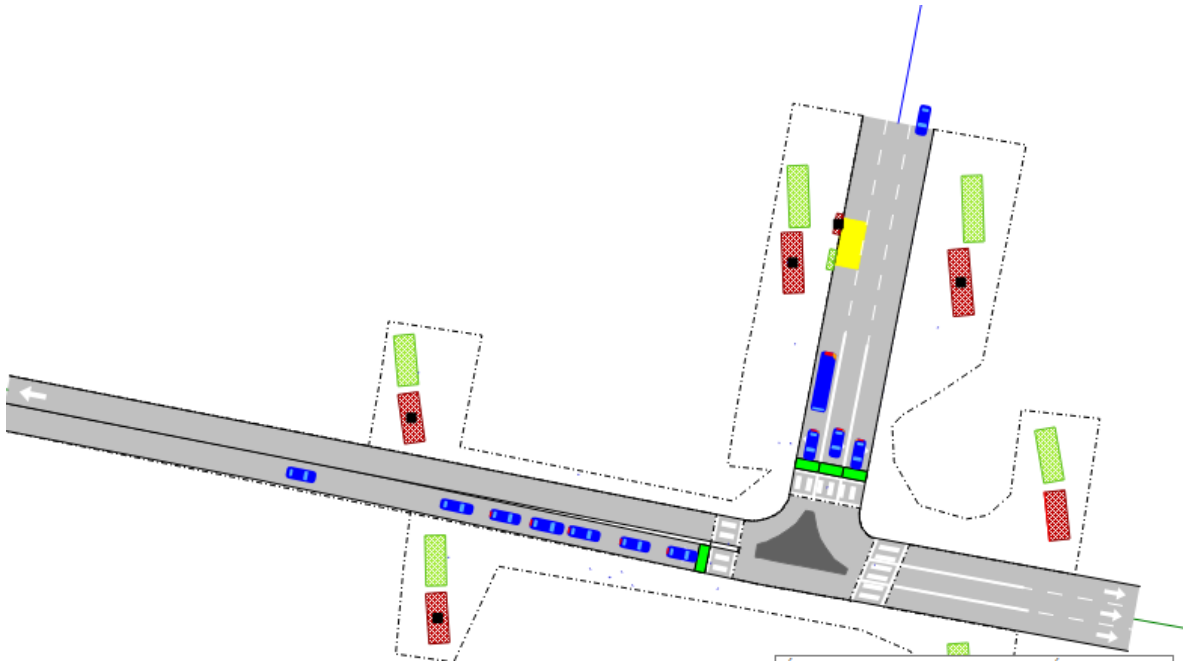


Figura Anexo 51. Captura desde AIMSUN NG. Modelo Punto 1 con Proyecto. Fuente: Elaboración propia.

B. Punto 02 – Los Héroes con 21 de Mayo, Calbuco.

- Construcción del Modelo

Para construir el modelo de la situación con proyecto, se debe poseer las soluciones dibujadas en un plano (de preferencia formato CAD). Sobre este, se puede dibujar en AIMSUN NG la geometría de los arcos y nudos. En la presente Memoria, específicamente en la sección Proyectos Definitivos del caso estudio, se presenta el Proyecto de Seguridad Vial, mediante el cual se basará la modelación de este escenario. A continuación, las siguientes figuras presentan la construcción del modelo y configuración del nudo.



Figura Anexo 52. Captura desde AIMSUN NG. Construcción modelo Punto 2 con Proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que la configuración de los nodos cambia. Ahora la rama norte posee dos pistas unidireccionales y se incorporó una nueva pista en la rama surponiente exclusiva para los autos que quieren tomar la calle norte.

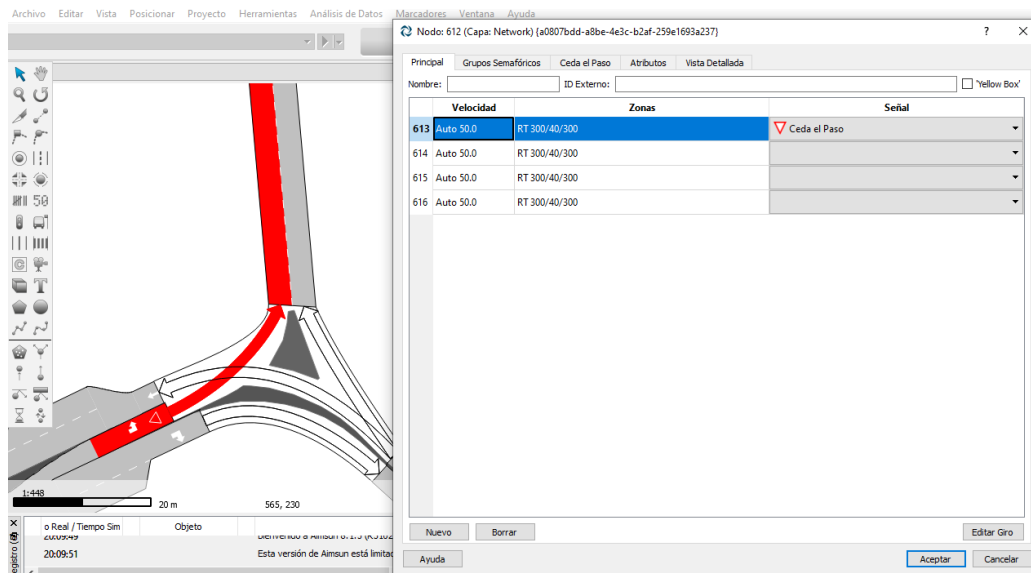


Figura Anexo 53. Captura desde AIMSUN NG. Configuración Nudo Punto 2 con Proyecto. Fuente: Elaboración propia.

La nueva operatividad del punto se rige en base a lo que indica el Proyecto de Seguridad Vial. La tipología de vehículos empleada corresponde a la misma considerada en la modelación del escenario actual. La demanda de tráfico se ingresa mediante estados de tráfico los cuales se configuran a partir de las mediciones de tránsito (flujos) realizadas en terreno. A modo de ejemplo, la imagen presentada a continuación muestra un estado de tráfico asociado a vehículo liviano en horario punta mañana.

Estado de Tráfico: 635, Nombre: Liv PM {6cdf2e8-1a88-4a83-944d-33c50d1a12e8} ? X

Principal Parámetros

Nombre: Liv PM ID Externo:

Tipo de Vehículo: 625: Livianos Propósito de Viaje: Ninguno

Cabeceras: ID: Nombre (ID Externo) Desde: 7:45:00 Duración: 01:00:00

Flujo de entrada Información del Giro

Resaltar definiciones incorrectas Copiar Pegar Usar Giros de Entrada

Mostrar Todas las Secciones Recalcular Porcentajes de Giro usando los Flujos de Salida

Secciones del Giro	Porcentaje de Giro	Flujo en el Giro (veh/h)
590 hasta 589	26.3427	103
590 hasta 606	73.6573	288
593 hasta 592	99.8062	515
593 hasta 596	0.193798	1

Ayuda Aceptar Cancelar

Figura Anexo 54. Captura desde AIMSUN NG. Estado de Tráfico Livianos PM Punto 2 con Proyecto. Fuente: Elaboración propia.

En relación con el transporte público, este se mantiene invariante en la situación con proyecto.

- Verificación del Modelo

De la misma manera que en la situación actual, se debe verificar que el modelo se reproduzca correctamente sin irregularidades en el movimiento vehicular y tampoco en la geometría. Para lo anterior, se requiere generar escenarios dinámicos en conjunto de una simulación animada para verificar el funcionamiento. Se consideró un escenario de 10 réplicas para filtrar los efectos estocásticos que gobiernan la microsimulación. En la siguiente imagen se observa que el modelo funciona correctamente.

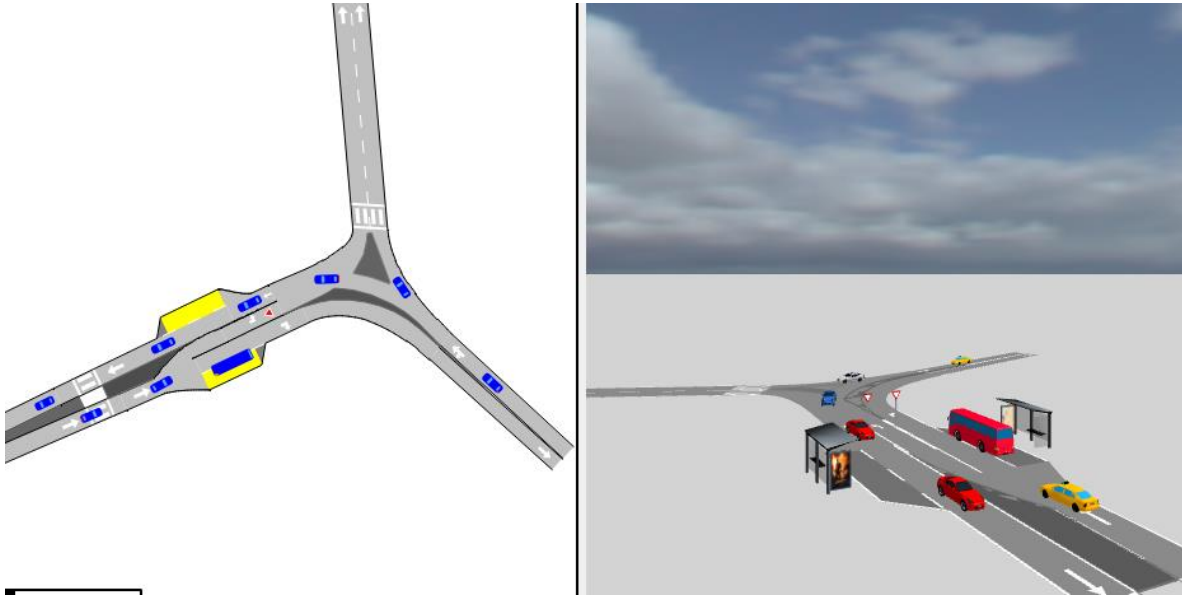


Figura Anexo 55. Captura desde AIMSUN NG. Modelo Punto 2 con Proyecto. Fuente: Elaboración propia.