



# MESPIVU

---

MANUAL DE EVALUACIÓN SOCIAL  
DE PROYECTOS DE VIALIDAD URBANA

MDS - SECTRA

2013

## **Autores**

La actualización del Manual de Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana fue fruto del trabajo conjunto de SECTRA (Programa de Vialidad y Transporte Urbano) y el Consorcio CIMA – CIPRÉS.

### **MANDANTE**

#### Dirección Técnica del Estudio

Viviana Muñoz D.  
Alan Thomas T.

#### Equipo Técnico

Rodrigo Contreras F.  
Carlos Moya S.  
Paola García T.  
Rodrigo Medina G.

### **CONSULTOR**

#### Jefe de Proyecto

Gonzalo Véjar L.

#### Equipo Técnico

Felipe Masjuan U.  
Carlos Araya R.  
Juan J. Bas M.  
Jorge Vera G.

En el desarrollo de este manual también participaron numerosas otras personas, entre las cuales cabe mencionar a Andrea Peña, Gabriela Ramos, Javiera Olguín, Natalia Akiki, Mauricio Jara, Christian Vigouroux y Sergio González.

También se agradece la colaboración de Esteban Pérez, Pamela Aguirre, José Villarroel, Rodrigo Henríquez, Angelo Cherubini, Javier Auszenker, Alejandro Rivas, Óscar Saavedra, Jaime Artigas y Fernando Britos.

La edición del manual estuvo a cargo de Rodrigo Contreras.

### **Dirección del Estudio**

Alan Thomas T.  
Coordinador Área Metodológica y Datos

Gisèle Labarthe B.  
Secretaria Ejecutiva SECTRA

# Índice General

## Parte I. Presentación del manual y conceptos generales

<b>Capítulo 1</b>	<b>Presentación del manual</b> .....	<b>2</b>
Sección 1.1	Introducción general.....	2
1.1.1	Contexto de la actualización del manual .....	2
1.1.2	Relación con otros documentos y la práctica .....	2
1.1.3	Niveles de análisis del manual .....	3
Sección 1.2	Estructura del manual.....	4
1.2.1	Organización .....	4
1.2.2	Contenidos del manual .....	4
1.2.3	Diagrama de la estructura del manual .....	5
Sección 1.3	Orientaciones metodológicas del manual .....	6
1.3.1	Diagnóstico .....	6
1.3.2	Flexibilidad y uniformidad .....	6
1.3.3	Interacción diseño-simulación.....	7
1.3.4	Alcances de la evaluación en este manual .....	7
<b>Capítulo 2</b>	<b>Tipología de proyectos y ciclo de vida</b> .....	<b>8</b>
Sección 2.1	Tipología de proyectos.....	8
2.1.1	Clasificación de proyectos .....	8
2.1.2	Clasificación de proyectos según su impacto en la demanda .....	9
2.1.3	Escala de los proyectos no estructurales.....	10
2.1.4	Impacto en el patrón de flujos en proyectos no estructurales.....	11
Sección 2.2	Ciclo de vida de un proyecto.....	11
2.2.1	Concepto general.....	11
2.2.2	Etapas del ciclo de vida de los proyectos .....	11
Sección 2.3	Alcances del análisis.....	15
2.3.1	Perfil.....	15
2.3.2	Prefactibilidad .....	15
Sección 2.4	Relación entre el ciclo de vida y las tipologías de proyecto .....	18

<b>Capítulo 3</b>	<b>Aspectos conceptuales para el desarrollo de los proyectos .....</b>	<b>20</b>
Sección 3.1	Formulación y análisis económico de un proyecto.....	20
3.1.1	Integración de políticas públicas y proyectos de inversión .....	20
3.1.2	Rol del analista en la evaluación.....	22
3.1.3	Condicionantes y restricciones .....	23
3.1.4	Análisis <i>ex post</i> .....	23
Sección 3.2	Diseño vial urbano .....	24
3.2.1	Aspectos generales .....	24
3.2.2	Secuencia del diseño vial urbano.....	24
3.2.3	Consideraciones respecto de la precisión del diseño vial urbano .....	25
Sección 3.3	Análisis urbano-ambiental .....	26
3.3.1	Conceptos generales.....	26
3.3.2	Consideraciones respecto a las zonas y unidades del espacio público .....	26
3.3.3	Escala y nivel de detalle del análisis urbano-ambiental .....	27

## Parte II. Metodologías generales

<b>Capítulo 4</b>	<b>Aspectos metodológicos generales .....</b>	<b>29</b>
Sección 4.1	Análisis a nivel de perfil .....	29
Sección 4.2	Análisis a nivel de prefactibilidad de proyectos no estructurales .....	31
4.2.1	Fase I: Diagnóstico y definición conceptual de soluciones .....	31
4.2.2	Fase II: Evaluación de alternativas preliminares.....	32
4.2.3	Fase III: Desarrollo y evaluación de la alternativa seleccionada.....	33
4.2.4	Diagramas de modelación y evaluación según tipo de proyecto .....	33
<b>Capítulo 5</b>	<b>Actividades Fase I: Diagnóstico y análisis conceptual de soluciones .....</b>	<b>35</b>
Sección 5.1	Descripción del contexto general del proyecto .....	35
5.1.1	Contexto general del proyecto .....	35
5.1.2	Condicionantes de diseño.....	35
5.1.3	Políticas de transporte y de otros sectores .....	36
5.1.4	Identificación de oportunidades.....	36
Sección 5.2	Recopilación de antecedentes y reconocimiento de terreno.....	36
5.2.1	Recopilación y antecedentes de estudios existentes .....	36

5.2.2	Reconocimiento de terreno.....	38
5.2.3	Consulta a agentes involucrados .....	39
Sección 5.3	Definiciones básicas .....	39
5.3.1	Definición del enfoque de modelación.....	39
5.3.2	Definición del área de referencia.....	40
5.3.3	Tipología de usuarios .....	41
5.3.4	Unidades de medida de flujos vehiculares .....	42
5.3.5	Periodización y factores de expansión de beneficios .....	43
5.3.6	Zonificación.....	44
5.3.7	Definición de la red vial relevante .....	44
5.3.8	Cortes temporales y horizonte de evaluación.....	44
Sección 5.4	Estudios de base de transporte .....	45
Sección 5.5	Estudios de base de infraestructura .....	46
Sección 5.6	Estudios de base urbano-ambientales.....	50
Sección 5.7	Modelación de la situación actual .....	52
5.7.1	Construcción del modelo de transporte.....	52
5.7.2	Calibración .....	52
Sección 5.8	Diagnóstico .....	52
5.8.1	Objetivo general .....	52
5.8.2	Diagnóstico de transporte .....	53
5.8.3	Diagnóstico de infraestructura .....	54
5.8.4	Diagnóstico urbano-ambiental .....	56
5.8.5	Diagnóstico Integral.....	57
Sección 5.9	Definición de la situación base .....	58
5.9.1	Definición conceptual .....	58
5.9.2	Influencia del tipo de proyecto.....	58
5.9.3	Tipos de intervención para la situación base.....	59
Sección 5.10	Definición conceptual de ideas de solución.....	59
5.10.1	Identificación preliminar de soluciones.....	59
5.10.2	Selección de ideas para el análisis preliminar de alternativas .....	60
<b>Capítulo 6</b>	<b>Actividades Fase II: Evaluación de alternativas preliminares .....</b>	<b>62</b>
Sección 6.1	Definición del área geográfica de intervención diseños.....	62

Sección 6.2	Revisión de definiciones básicas y complemento de información .....	62
Sección 6.3	Planteamiento de alternativas.....	63
Sección 6.4	Desarrollo de prediseños y estimación de inversiones para alternativas preliminares .....	63
Sección 6.5	Modelación de alternativas preliminares .....	67
Sección 6.6	Evaluación de alternativas preliminares.....	67
6.6.1	Indicadores de rentabilidad económica .....	68
6.6.2	Análisis urbano-ambiental de alternativas preliminares.....	68
Sección 6.7	Selección de alternativa.....	69
<b>Capítulo 7</b>	<b>Actividades Fase III: Desarrollo y evaluación de la alternativa seleccionada .....</b>	<b>70</b>
Sección 7.1	Definición de la alternativa seleccionada .....	70
7.1.1	General.....	70
7.1.2	Diseño operacional .....	70
7.1.3	Composición detallada de componentes viales urbanas .....	71
7.1.4	Ajustes de la solución obtenida en análisis preliminar.....	72
Sección 7.2	Estudios de base para el desarrollo de anteproyecto .....	73
7.2.1	Complemento de estudios de base de transporte .....	73
7.2.2	Complemento de estudios de base de infraestructura .....	73
7.2.3	Complemento de estudios de base urbano-ambientales.....	77
Sección 7.3	Desarrollo del anteproyecto de la solución definitiva .....	78
Sección 7.4	Costos de inversión de la solución definitiva .....	81
7.4.1	Introducción.....	81
Sección 7.5	Modelación y simulación del proyecto definitivo.....	83
Sección 7.6	Evaluación económica definitiva .....	83
Sección 7.7	Análisis urbano-ambiental definitivo.....	83
Sección 7.8	Reevaluación de proyectos.....	84

## Parte III. Metodologías específicas

<b>Capítulo 8</b>	<b>Definiciones básicas .....</b>	<b>86</b>
Sección 8.1	Selección de las herramientas de modelación de tránsito.....	86
8.1.1	Tipos de herramientas de modelación .....	86
8.1.2	Criterios principales de selección .....	86

8.1.3	Criterios complementarios de selección .....	88
8.1.4	Incorporación de modelos de asignación de viajes .....	90
8.1.5	Incorporación de herramientas de optimización y gestión de semáforos .....	90
8.1.6	Incorporación de fenómenos particulares .....	90
8.1.7	Requerimientos de implementación .....	91
8.1.8	Selección de la herramienta .....	92
Sección 8.2	Periodización.....	92
8.2.1	Métodos de periodización .....	92
8.2.2	Determinación factores de expansión de beneficios .....	94
Sección 8.3	Zonificación .....	95
8.3.1	Recomendaciones para zonificar .....	95
8.3.2	Criterios de definición de centroides y conectores .....	97
<b>Capítulo 9</b>	<b>Estudios de base.....</b>	<b>98</b>
Sección 9.1	Estudios de base de transporte .....	98
9.1.1	Medición de flujo vehicular .....	98
9.1.2	Medición de flujo de peatones .....	102
9.1.3	Medición de flujo de bicicletas .....	104
9.1.4	Encuestas origen destino de viajes a usuarios de vehículos privados.....	104
9.1.5	Encuesta a usuarios de transporte público.....	107
9.1.6	Medición de tasas de ocupación por tipo de vehículo .....	108
9.1.7	Medición de tiempo de viaje .....	111
9.1.8	Medición de longitud de colas.....	113
9.1.9	Flujos de saturación .....	115
9.1.10	Catastro de transporte público.....	117
9.1.11	Medición de frecuencias de transporte público.....	117
9.1.12	Catastro de rutas de camiones .....	118
9.1.13	Medición de actividad de paraderos de transporte público .....	118
9.1.14	Recolección de información de accidentes de tránsito .....	119
9.1.15	Catastro geométrico-operativo .....	119
Sección 9.2	Estudios de base de infraestructura .....	120
9.2.1	Topografía.....	120
9.2.2	Geotecnia.....	127

9.2.3	Hidrología.....	129
9.2.4	Pavimentos .....	130
9.2.5	Catastro físico-operativo y de seguridad vial.....	133
9.2.6	Instalaciones de servicios .....	136
9.2.7	Expropiaciones.....	139
9.2.8	Estructuras .....	140
9.2.9	Obras especiales .....	141
9.2.10	Estudios de precios .....	141
<b>Sección 9.3 Estudios de base urbano-ambientales.....</b>		<b>142</b>
9.3.1	Geomorfología, clima y población .....	142
9.3.2	Aspectos legales, normativos y de planificación territorial.....	144
9.3.3	Urbanización, Subdivisión Predial, Edificación e Infraestructura urbana.....	147
9.3.4	Espacios públicos, áreas verdes y entorno ambiental.....	150
9.3.5	Elementos patrimoniales y de significado .....	153
9.3.6	Actividades, usos y costumbres.....	155
9.3.7	Seguridad peatonal.....	157
<b>Capítulo 10 Modelación.....</b>		<b>159</b>
Sección 10.1 Introducción.....		159
Sección 10.2 Construcción del modelo .....		159
10.2.1	Topología .....	159
10.2.2	Métodos de elección de ruta.....	160
10.2.3	Factores de equivalencia .....	161
10.2.4	Flujos de saturación .....	161
Sección 10.3 Consideraciones generales en la modelación.....		163
10.3.1	Interacción entre tipos de modelos.....	163
10.3.2	Algoritmos de asignación.....	164
10.3.3	Interacción entre el diseño operacional y la asignación.....	165
Sección 10.4 Calibración de modelos.....		165
10.4.1	Modelación de redes sin asignación.....	166
10.4.2	Modelación de redes con asignación .....	167
10.4.3	Definición de criterios de ajuste y tolerancias.....	175
Sección 10.5 Métodos de proyección de demanda .....		177

10.5.1	Técnicas de proyección de demanda.....	178
10.5.2	Enfoques de modelación .....	182
Sección 10.6	Modelación del deterioro de pavimentos .....	183
10.6.1	Formulación Matemática para el Diseño en Hormigón.....	183
<b>Capítulo 11</b>	<b>Diagnóstico .....</b>	<b>184</b>
Sección 11.1	Diagnóstico de transporte .....	184
11.1.1	Conflictos .....	184
11.1.2	Diagnóstico de transporte para vehículos motorizados.....	185
11.1.3	Diagnóstico de transporte para usuarios no motorizados .....	187
11.1.4	Análisis de la interacción entre vehículos motorizados y usuarios no motorizados.....	189
11.1.5	Diagnóstico de accidentabilidad .....	189
Sección 11.2	Diagnóstico de infraestructura .....	191
11.2.1	Vialidad .....	191
11.2.2	Instalaciones en la plataforma vial .....	191
11.2.3	Estructuras y obras especiales.....	191
Sección 11.3	Diagnóstico urbano-ambiental .....	192
Sección 11.4	Plano de condicionantes.....	192
<b>Capítulo 12</b>	<b>Diseño .....</b>	<b>195</b>
Sección 12.1	Definiciones y fundamentos del diseño vial urbano.....	195
12.1.1	Generalidades.....	195
12.1.2	Componentes del espacio vial urbano.....	195
12.1.3	Secuencia del diseño vial urbano.....	198
12.1.4	Condicionantes de diseño.....	199
Sección 12.2	Proceso de composición .....	200
12.2.1	Generalidades.....	200
12.2.2	Principios urbanos de composición .....	200
12.2.3	Recomendaciones generales para la composición de vías urbanas.....	202
12.2.4	Composición de tramos o segmentos de vías urbanas .....	203
12.2.5	Composición en intersecciones .....	214
12.2.6	Actores y criterios de acuerdo .....	214
Sección 12.3	Prediseño .....	216

12.3.1	Composición de secciones .....	216
12.3.2	Trazado .....	216
12.3.3	Operacional y seguridad Vial .....	218
12.3.4	Arquitectura y paisajismo .....	218
12.3.5	Pavimentos .....	218
12.3.6	Saneamiento .....	219
12.3.7	Modificación y reposición de servicios .....	219
12.3.8	Estructuras .....	219
12.3.9	Expropiaciones .....	220
12.3.10	Desvíos de tránsito .....	220
12.3.11	Inversiones a nivel de prediseño .....	220
Sección 12.4	Anteproyecto .....	221
12.4.1	Generalidades .....	221
12.4.2	Trazado Geométrico .....	222
12.4.3	Pavimentos .....	227
12.4.4	Saneamiento .....	228
12.4.5	Arquitectura y Paisajismo .....	229
12.4.6	Modificación y reposición de servicios .....	230
12.4.7	Estructuras y obras especiales .....	231
12.4.8	Expropiaciones .....	233
12.4.9	Desvíos de tránsito .....	233
12.4.10	Iluminación .....	234
12.4.11	Inversiones a nivel de anteproyecto .....	234
Sección 12.5	Interacción entre el diseño y la modelación de transporte .....	235
12.5.1	Flujos de diseño .....	235
Sección 12.6	Diseño Operacional .....	236
12.6.1	Introducción .....	236
12.6.2	Control de tránsito .....	237
12.6.3	Medidas de control del uso de las vías .....	239
12.6.4	Medidas de control del uso de intersecciones .....	241
<b>Capítulo 13</b>	<b>Evaluación económica .....</b>	<b>246</b>
Sección 13.1	Estimación de beneficios económicos .....	246

13.1.1	Beneficios asociados a usuarios motorizados .....	246
13.1.2	Beneficios por seguridad vial .....	256
13.1.3	Beneficios asociados a usuarios no motorizados .....	257
13.1.4	Otros beneficios económicos.....	258
Sección 13.2	Proyección de beneficios .....	259
13.2.1	Proyectos con modelación de un solo corte temporal.....	259
13.2.2	Proyectos con modelación de más de un corte temporal .....	259
Sección 13.3	Estimación de costos sociales de inversión .....	264
Sección 13.4	Valor residual del proyecto.....	265
13.4.1	Definición .....	265
13.4.2	Criterios y recomendaciones generales para el cálculo del valor residual....	265
Sección 13.5	Indicadores económicos de los proyectos.....	266
13.5.1	Indicador de corto plazo .....	266
13.5.2	Indicadores de largo plazo .....	266
13.5.3	Tasa de rentabilidad inmediata y año óptimo de la inversión .....	267
13.5.4	Análisis de sensibilidad de la evaluación .....	268
Sección 13.6	Reevaluación de proyectos.....	269
13.6.1	Consideraciones generales .....	269
13.6.2	Montos de Inversión.....	270
13.6.3	Determinación del nuevo primer año.....	270
13.6.4	Actualización de beneficios .....	271
13.6.5	Indicadores de rentabilidad.....	272
<b>Capítulo 14</b>	<b>Análisis urbano-ambiental.....</b>	<b>273</b>
Sección 14.1	Identificación de impactos.....	273
14.1.1	Población .....	273
14.1.2	Entorno .....	274
Sección 14.2	Estimación de impactos .....	275
<b>Referencias</b>	<b>278</b>	

# PARTE I

---

## PRESENTACIÓN DEL MANUAL Y CONCEPTOS GENERALES

## Capítulo 1 Presentación del manual

### Sección 1.1 Introducción general

#### 1.1.1 Contexto de la actualización del manual

El desarrollo de metodologías para el análisis y evaluación social de proyectos de mejoramiento de los sistemas de transporte representa una línea de trabajo permanente del Programa de Vialidad y Transporte Urbano: SECTRA, perteneciente al Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. En tal sentido, en 1988 se elaboró el Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana (MESPIVU 1988) que recogió el estado del arte en materias de análisis, formulación y evaluación social de proyectos de vialidad urbana. El MESPIVU 1988 aborda la evaluación de estos proyectos en la etapa de prefactibilidad.

El MESPIVU 1988, junto con su documento asociado, Metodología de Análisis del Sistema de Transporte de Ciudades de Gran Tamaño y Tamaño Medio (MESPE), y el resto de documentos que complementan sus procedimientos, herramientas y criterios técnicos, han constituido la principal herramienta metodológica para el análisis y evaluación social de los proyectos de vialidad urbana, pasando a formar parte integrante de los documentos del Sistema Nacional de Inversiones (SNI).

Considerando el grado de consolidación y desarrollo metodológico de los análisis preinversionales en los sistemas de transporte urbano, el avance experimentado en los procesos de toma de decisiones de esta naturaleza y la experiencia acumulada desde la elaboración de la anterior versión, se planteó la necesidad de revisar y actualizar el ámbito, los contenidos, herramientas y alcances que el MESPIVU abarca. Para estos efectos se realizó el estudio “Análisis y Desarrollo de la Metodología de Evaluación Social de Proyectos Tácticos de Vialidad Urbana”, cuyo producto principal fue la elaboración de esta nueva versión del Manual de Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana, orientado a guiar y apoyar los procesos de formulación, análisis y evaluación de proyectos de transporte en el ámbito urbano.

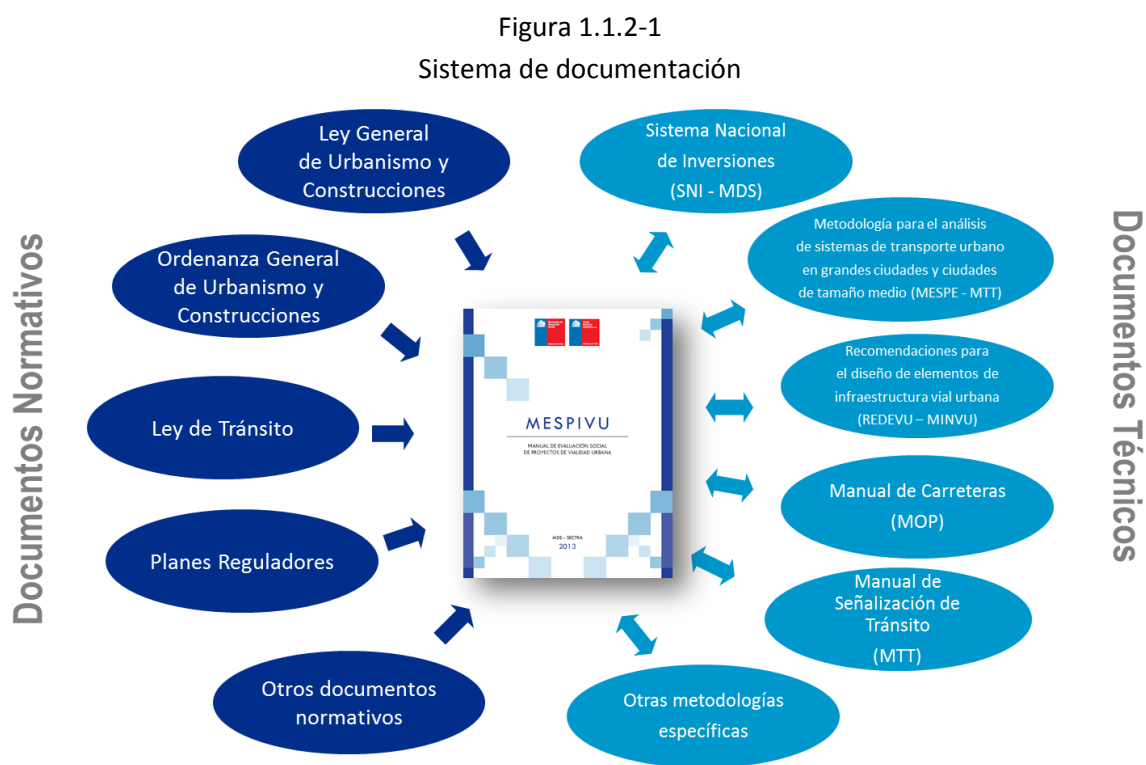
#### 1.1.2 Relación con otros documentos y la práctica

Este manual constituye una versión actualizada del MESPIVU 1988, donde se ha procurado incorporar la experiencia recogida en los últimos 20 años de aplicación.

Durante este período se efectuó a lo largo del país una gran cantidad de evaluaciones sociales de proyectos de vialidad urbana, muchas de las cuales se tradujeron en proyectos viales ejecutados y actualmente en operación. Estos desarrollos permitieron generar mejoras a las metodologías, las

que han sido incorporadas en esta nueva versión. Del mismo modo, en los últimos años fue necesario generar diversas minutas metodológicas para homogeneizar el tratamiento en la evaluación social de determinados aspectos que se estimó necesario normalizar metodológicamente, las cuales se han incorporado o referenciado en este nuevo manual.

La Figura 1.1.2-1 muestra la vinculación del MESPIVU con los principales manuales y documentos, en el contexto del análisis y evaluación social de los proyectos de vialidad urbana.



### 1.1.3 Niveles de análisis del manual

Este manual aborda el desarrollo de proyectos de vialidad urbana en la etapa de prefactibilidad, en la cual se elabora el diseño físico y operacional del proyecto con una precisión a nivel de prediseño, anteproyecto y, en ciertos casos, hasta el nivel de ingeniería de detalle.

Para los proyectos de transporte, las etapas de prefactibilidad y factibilidad del SNI se llevan adelante en forma conjunta, por lo que se introduce en este manual el concepto de “nivel de análisis”, para reflejar esta agrupación.

Esta nueva versión del manual incorpora adicionalmente lineamientos metodológicos generales para orientar los análisis propios de la etapa de perfil, en la Sección 4.1.

## Sección 1.2 Estructura del manual

### 1.2.1 Organización

El manual se estructura en tres partes:

- Parte I: Presentación del manual y conceptos generales.
- Parte II: Metodologías generales.
- Parte III: Metodologías específicas.

Cada parte se divide en capítulos con unidades temáticas, cada capítulo se estructura en secciones (título de dos dígitos) y estas, a su vez, en acápite (títulos de tres dígitos). El texto se presenta al interior de estos subdividido en títulos de cuatro dígitos e incisos (letras).

### 1.2.2 Contenidos del manual

#### 1.2.2.1 Parte I: Presentación del manual y conceptos generales

La primera parte se orienta a la presentación de las características esenciales del manual. En ella se describe cómo está estructurado y las orientaciones metodológicas que han sido consideradas para su desarrollo.

También se presenta la clasificación de proyectos de vialidad urbana y el ámbito de aplicación del manual para cada uno de ellos. Se incluyen las etapas del ciclo de vida de un proyecto y la definición de los niveles de análisis y de precisión en el diseño de los proyectos.

Además, se establece la relación entre las políticas públicas y los proyectos de vialidad urbana, definiendo el rol y alcance que debe tener la evaluación social, e incorporando recomendaciones sobre el papel que le compete al analista.

#### 1.2.2.2 Parte II: Metodologías generales

La segunda parte del manual contiene el enfoque de análisis de proyectos de vialidad urbana, según la clasificación de proyectos definida en la Parte I. En el primer capítulo se describe la metodología de trabajo general para abordar los análisis a nivel de perfil y prefactibilidad. Se incorporan diagramas explicativos que permiten visualizar el proceso metodológico necesario para cada tipo de proyecto analizado en este manual, detallando las fases de estudio y actividades asociadas al nivel de análisis de prefactibilidad.

Los capítulos siguientes describen las actividades definidas en los diagramas explicativos, necesarias para abordar el análisis y evaluación de los proyectos a nivel de prefactibilidad.

Las actividades han sido agrupadas en fases de estudio secuenciales, definidas en términos del nivel de detalle con que se aborda el problema:

- Fase I: Diagnóstico y análisis conceptual de soluciones
- Fase II: Evaluación de alternativas preliminares
- Fase III: Desarrollo y evaluación de alternativas seleccionadas

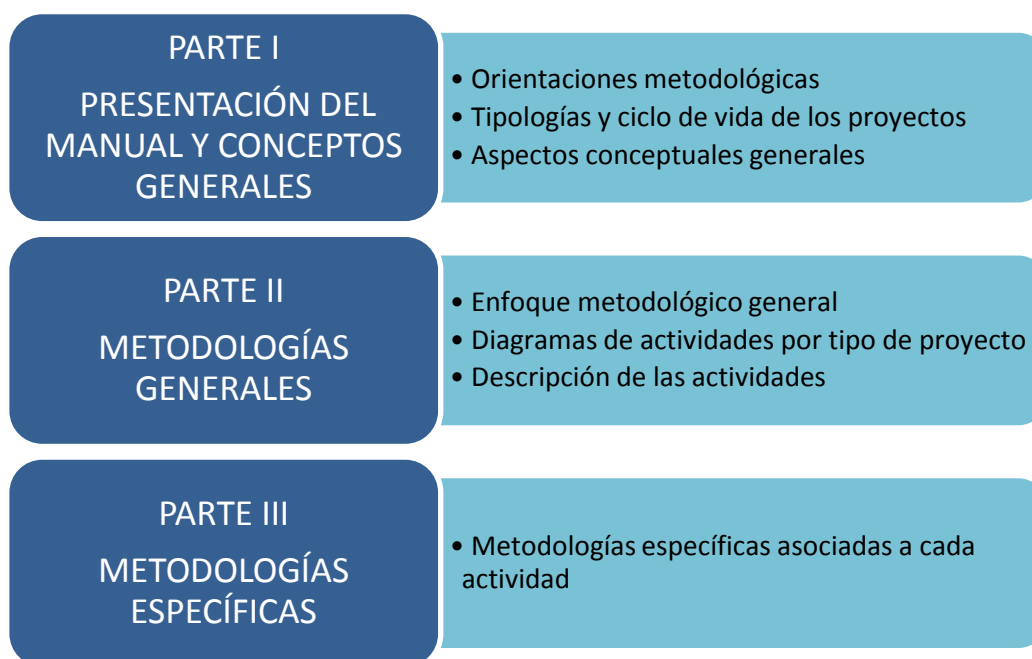
### 1.2.2.3 Parte III: Metodologías específicas

La tercera parte del manual contiene las metodologías específicas recomendadas para desarrollar las actividades planteadas en la segunda parte del manual.

### 1.2.3 Diagrama de la estructura del manual

En la Figura 1.2.3-1 se presenta la estructura del manual:

Figura 1.2.3-1  
Organización del manual



## Sección 1.3 Orientaciones metodológicas del manual

### 1.3.1 Diagnóstico

El enfoque metodológico que plantea este manual se orienta a lograr una correcta identificación de los problemas que justifican la formulación de un proyecto y a la posterior definición de las mejores alternativas para resolverlo.

Para ello se considera, en una fase inicial de la metodología, una exhaustiva recolección de información, capaz de mostrar con detalle la situación del sistema de transporte en términos de demanda, oferta y del sistema de actividades económicas vinculado. Se otorga así una especial importancia a la etapa de diagnóstico, a partir de la cual se busca concluir acerca de las características principales de los problemas identificados y su tipología de solución.

En la práctica se observa que existen ocasiones en las que, si bien se evalúan correctamente los proyectos, estos no responden adecuadamente a los problemas identificados o se falla en su ejecución por aparecer restricciones o condicionantes no detectadas oportunamente. El origen de estos problemas puede provenir, entre otros factores, de situaciones físicas o ambientales en el área de intervención que no fueron correctamente identificadas. La realización de un buen diagnóstico y la inclusión de los actores afectados e interesados en el proyecto de manera temprana forma parte importante de esta metodología, pues permite generar proyectos que responden adecuadamente a los problemas identificados, con un adecuado conocimiento de las restricciones o condicionantes detectadas.

### 1.3.2 Flexibilidad y uniformidad

En el estudio de los sistemas de transporte urbano el analista se ve expuesto a un problema complejo que exige una visión amplia, de manera de no excluir a priori alternativas de solución que pudieran resultar adecuadas. El margen de intervención para abordar el problema es también bastante amplio.

En este sentido, el manual propone como elemento central de la metodología, la necesidad de conocer e incorporar todos los aspectos relevantes para el análisis, induciendo la implementación de procedimientos homogéneos que faciliten el uso de las herramientas disponibles para la modelación y diseño de las iniciativas de inversión, sin abandonar la flexibilidad necesaria para adaptarse a las particularidades de cada proyecto.

La metodología está basada en una estructura que contempla la definición de fases secuenciales de análisis y una tipificación de proyectos. El manual entrega directrices metodológicas para el análisis de los distintos tipos de proyectos, orientando al analista respecto de la profundidad y el enfoque metodológico que debe ser utilizado, en función de la valoración del tipo y magnitud de

los impactos que se prevé generará el proyecto. Independientemente del enfoque seleccionado, el proceso de análisis presentado en el manual busca consistencia en la comparación y priorización de proyectos.

### **1.3.3 Interacción diseño-simulación**

La interacción entre el diseño físico y operacional de un proyecto vial y la modelación del sistema de transporte permite maximizar la riqueza de las soluciones ofrecidas y validar su diseño para la vida útil proyectada.

La simulación de la operación entrega información que el analista debe considerar para afinar sus diseños o para generar otros alternativos. Dada la complejidad de los problemas a tratar, muchas veces la intuición del analista es insuficiente para generar esos esquemas. El uso de herramientas adecuadas de simulación no solo permite obtener información necesaria para estimar costos y beneficios de una alternativa, sino además hace posible detectar impactos que pueden ser mitigados mediante modificaciones a los diseños físico y operacional.

### **1.3.4 Alcances de la evaluación en este manual**

La evaluación social de un proyecto vial urbano incorpora una amplia gama de impactos económicos, sociales y ambientales. En el contexto de este manual, la evaluación económica está basada en el consumo de recursos, de acuerdo con el marco definido en el SNI. Para estimar su magnitud apropiadamente y de forma consistente, se usan programas computacionales diversos previamente aceptados y validados. A partir de los resultados de la simulación, además de los indicadores tradicionales de largo plazo, son generados también indicadores de corto plazo con el fin de determinar el año óptimo de inversión, con procedimientos especiales según el tipo de proyecto. Con estos lineamientos, se refuerza el concepto de homogeneidad en la estimación de los beneficios y en la evaluación económica, y se permite tratar con flexibilidad diversos tipos de proyectos.

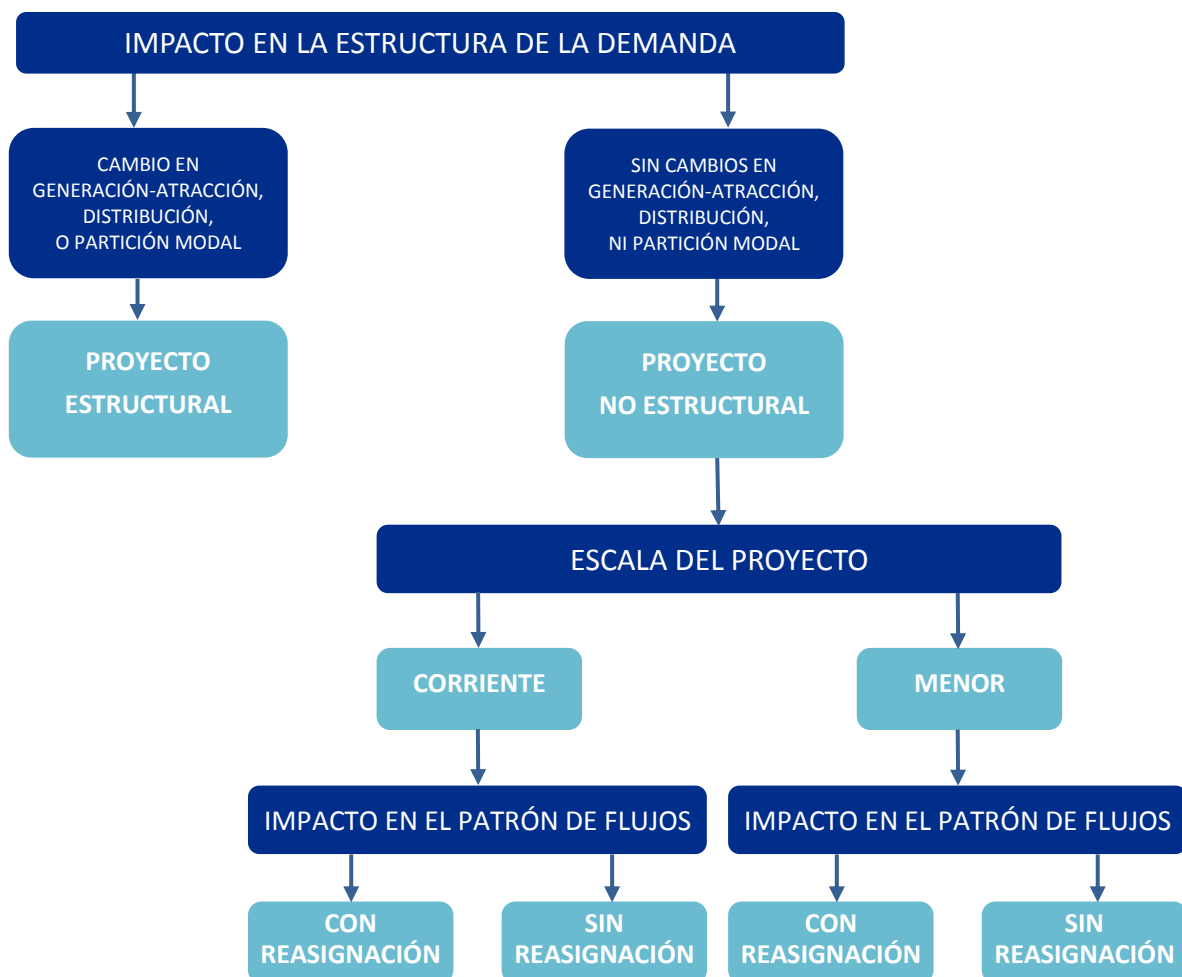
## Capítulo 2 Tipología de proyectos y ciclo de vida

### Sección 2.1 Tipología de proyectos

#### 2.1.1 Clasificación de proyectos

La clasificación de proyectos, para efectos de la metodología de evaluación, se basa principalmente en el impacto que un proyecto provoca en la estructura de la demanda y en los patrones de flujo en las redes de transporte. La siguiente figura resume la clasificación general de proyectos de vialidad urbana utilizada en el presente manual, los cuales se describen y ejemplifican en los acápites siguientes.

Figura 2.1.1-1  
Clasificación general de proyectos



## 2.1.2 Clasificación de proyectos según su impacto en la demanda

### 2.1.2.1 Proyectos estructurales

Corresponden a cualquier intervención sobre la red urbana de transporte que genera, como uno de sus principales impactos, variaciones significativas en la estructura de la demanda de viajes (generación-atracción, distribución o partición modal), aspecto que debe ser valorado por el analista.

Los distintos tipos de intervención considerados en esta clasificación son:

- **Infraestructura:** Los proyectos estructurales de infraestructura serán aquellos que por su magnitud y cobertura generen impactos significativos en la estructura de la demanda de viajes. Por ejemplo, una nueva línea de metro.
- **Gestión:** A nivel estructural, estos proyectos se orientan a la gestión de la demanda, es decir, consisten en acciones que buscan modificar el comportamiento de los usuarios en relación a la decisión de viajar, la hora del viaje, a dónde viajar o el modo de transporte elegido. En general, los proyectos estructurales de gestión se enmarcan en el contexto de políticas de transporte con orientaciones específicas, como, por ejemplo, los proyectos de gestión de estacionamientos (cuando se modifica su disponibilidad o precios en un área importante), si se estima que ello producirá cambios significativos en la estructura de la demanda.
- **Otras acciones:** Incluyen acciones políticas como cambios en precios de los insumos, subsidios al transporte, tarificación vial, restricción vehicular, reducción o congelamiento del parque de servicios de transporte público, modificaciones en los usos de suelo en los instrumentos de planificación territorial, y, eventualmente, cambios tecnológicos.

### 2.1.2.2 Proyectos no estructurales

Son aquellos cuyo impacto en la estructura de la demanda de viajes no es significativo; es decir, la demanda de viajes por modo en cada período de análisis es la misma en la situación base y en todas las alternativas de proyecto analizadas.

Los distintos tipos de intervención que considera esta clase de proyectos son:

- **Proyectos de gestión:** corresponden a un conjunto de acciones sobre la infraestructura vial (dispositivos de control de tránsito y el ordenamiento de la circulación de usuarios motorizados y no motorizados) que busca optimizar la operación y capacidad de la vialidad con el fin de generar una circulación eficiente y segura para todos los usuarios de las vías. Dentro de ellos es posible señalar:

- Gestión de intersecciones (tipo de regulación, señalización, demarcación, redes de semáforos coordinados, provisión o prohibición de movimientos, pistas de viraje, etc.).
- Gestión de vías (señalización, vías reversibles, cambios permanentes o transitorios de los sentidos de tránsito, prioridades para la circulación del transporte público u otros modos de transporte, paraderos).
- Gestión de estacionamientos (restricción o control de estacionamientos en áreas urbanas, habilitación de nuevos estacionamientos a una escala tal que no generen impactos significativos en la demanda).
- Facilidades para peatones y bicicletas.
- Proyectos de infraestructura: intervenciones destinadas a modificar las características físicas o geométricas de los elementos que componen la plataforma vial (áreas destinadas al tránsito de vehículos y peatones).
  - Habilitación de nueva vialidad.
  - Modificaciones o ampliaciones de calzadas existentes.
  - Corredores de transporte público.
  - Rediseño de intersecciones.
  - Aceras y ciclovías.

### 2.1.3 Escala de los proyectos no estructurales

En función de la magnitud del costo de inversión, los proyectos no estructurales se pueden clasificar en menores y corrientes.

#### 2.1.3.1 Proyectos menores

Los proyectos menores son aquellos cuyo monto de inversión es bajo y no presenta grandes incertidumbres. No es posible precisar un monto específico como límite, pero en general se trata de mejoras de infraestructura o proyectos de gestión de tránsito puntuales sobre intersecciones o pequeñas áreas. Aquellos proyectos que incluyan expropiaciones, ampliaciones de ejes, estructuras o nueva vialidad no pueden ser considerados menores. Los proyectos menores son evaluados en la etapa de perfil y pasan directamente a la etapa de diseño (Título 2.2.2.4).

### 2.1.3.2 Proyectos corrientes

Los proyectos corrientes son todos los proyectos no estructurales que no clasifican como proyecto menor.

### 2.1.4 Impacto en el patrón de flujos en proyectos no estructurales

Los proyectos no estructurales, sean menores o corrientes, pueden inducir o no reasignaciones de tránsito, lo cual dependerá del impacto en el patrón de flujos en la red, lo que deberá ser valorado por el analista.

## Sección 2.2 Ciclo de vida de un proyecto

### 2.2.1 Concepto general

El proceso de inversión utiliza recursos humanos, físicos, financieros, materiales y metodológicos que van dando valor a las iniciativas en tanto estas pasan desde la identificación a la formulación, evaluación, ejecución, puesta en marcha y operación.

El SNI debe abarcar este proceso en su integridad, lo que conlleva un flujo permanente de iniciativas con distintos grados de elaboración, de manera que continuamente se estarán identificando, formulando, y evaluando, para finalmente recomendar la ejecución de aquellas iniciativas de inversión que presenten rentabilidades sociales sobre el umbral establecido.

La secuencia de estados dentro de este proceso es lo que se denomina “ciclo de vida”, que se resume en las siguientes etapas, las cuales deben ser ejecutadas en forma secuencial.

### 2.2.2 Etapas del ciclo de vida de los proyectos

El ciclo de vida de un proyecto según el SNI, está constituido por las siguientes etapas:

#### 2.2.2.1 Idea

Esta es una etapa temprana en la que se identifica una necesidad insatisfecha o problema por resolver en el sistema de transporte y se establece su importancia. Se identifica también el conjunto de posibles beneficios e impactos de las distintas ideas de solución, además de su localización geográfica, con el objeto de poder compararlas.

## 2.2.2.2 Perfil

En esta etapa se lleva a cabo un análisis preliminar de los aspectos técnicos de la iniciativa de inversión y se hace una primera estimación de los indicadores económicos del proyecto. Para ello, se utiliza principalmente la información existente referida a demanda e inversión.

## 2.2.2.3 Prefactibilidad y factibilidad

En el nivel de análisis de prefactibilidad<sup>1</sup>, se evalúan las alternativas de proyecto con el propósito de seleccionar la mejor alternativa y definir su diseño físico y operacional a nivel de anteproyecto.

## 2.2.2.4 Diseño

En esta etapa del proyecto se hacen ajustes a la ingeniería y arquitectura, se definen los detalles finales previos a la ejecución (disponibilidad y características del terreno o área de influencia), se desarrollan los proyectos definitivos complementarios a las obras viales (modificación de servicios, saneamiento de aguas lluvias, estructuras, expropiaciones, reposición de canales, riego, paisajismo, iluminación pública, etc.) y las especificaciones técnicas para la contratación de las obras.

## 2.2.2.5 Ejecución

En esta etapa se ejecuta físicamente la iniciativa de inversión de la forma en que fue especificada en la etapa de diseño, a fin de obtener durante su operación los beneficios netos estimados.

## 2.2.2.6 Operación

Esta etapa incluye la puesta en marcha y operación en régimen de la iniciativa de inversión. Como parte de ella, es recomendable realizar un seguimiento del proyecto que permita una vez alcanzada la operación en régimen del mismo, verificar los supuestos realizados y los resultados en términos de:

- que el proyecto sea capaz de resolver los problemas detectados;
- que las estimaciones de demanda correspondan con la demanda observada, y
- que las estimaciones de costos de inversión y otros se estén cumpliendo.

---

<sup>1</sup> En los proyectos de transporte las etapas de prefactibilidad y factibilidad se abordan en forma conjunta en un nivel de análisis definido como prefactibilidad, tal como se expone en el Acápite 1.1.3.

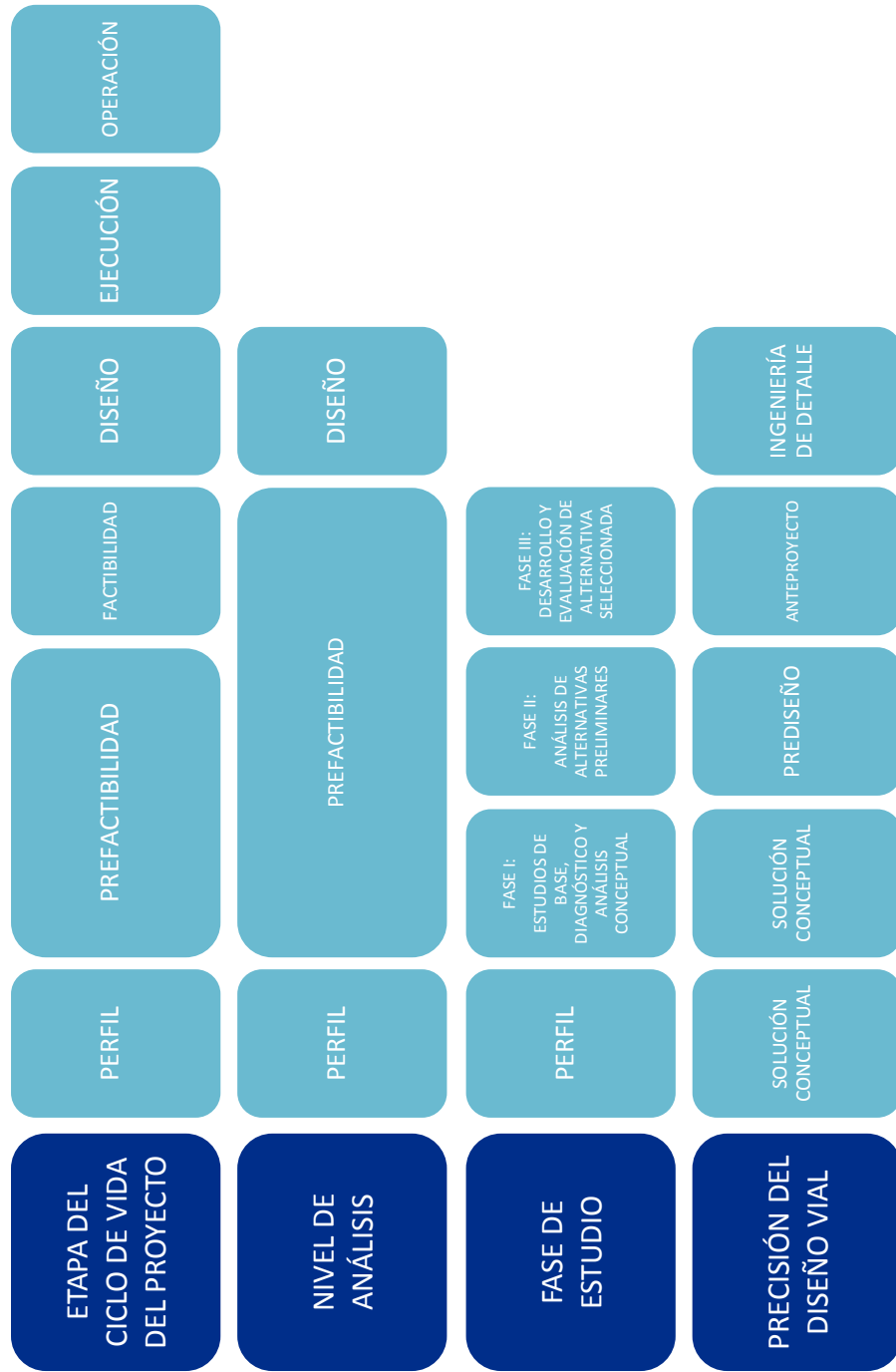
Si no lo hacen, deben identificarse las razones de las diferencias encontradas, sirviendo esto además para mejorar las capacidades de análisis y evaluación de proyectos similares, lo que se denomina análisis o evaluación *ex post*.

#### **2.2.2.7 Esquema del ciclo de vida de un proyecto**

En la Figura 2.2.2-1 se muestra la relación entre etapas del ciclo de vida, niveles de análisis, fases de estudio y niveles de precisión de los proyectos a evaluar.

Figura 2.2.2-1

Relación entre el ciclo de vida y niveles de análisis<sup>2</sup>



<sup>2</sup> La etapa de idea no tiene asociado un nivel de desarrollo de estudios.

## Sección 2.3 Alcances del análisis

### 2.3.1 Perfil

Este corresponde al primer nivel de análisis técnico económico en el que se realiza un proceso de evaluación de un proyecto, haciendo una cuantificación aproximada de la demanda, de los montos de inversión y de los beneficios, basada principalmente en información existente disponible.

En esta etapa, el diseño vial es conceptual e incorpora información existente que permita establecer soluciones viables. Este se define a partir de descripciones y especificaciones generales, que permiten identificar las obras viales y complementarias involucradas.

### 2.3.2 Prefactibilidad

Este nivel de análisis existe para todos los proyectos señalados, con la excepción de los proyectos no estructurales menores.

#### 2.3.2.1 Según tipo de proyecto

##### a) Proyectos no estructurales

La decisión de inversión en los proyectos no estructurales requiere de dos instancias de evaluación: la selección de la alternativa definitiva con costos a nivel de prediseño, y posteriormente, la evaluación de la alternativa definitiva con una mayor precisión en los costos, materializándose en un anteproyecto técnicamente aceptado y económicamente rentable que pasará a la etapa de diseño, si se decide su ejecución. La evaluación se debe realizar usando herramientas que permiten estimar impactos a nivel de patrón de flujos, en concordancia con la definición de proyecto no estructural.

Un caso particular lo constituyen los proyectos de gestión, en los que se pasa del nivel de prediseño (fase II) directamente al desarrollo de la ingeniería de detalle de la alternativa seleccionada y su evaluación social definitiva, sin desarrollar el diseño a nivel de anteproyecto. Este es el caso, por ejemplo, de los planes de gestión de tránsito.

## b) Proyectos estructurales

La evaluación social para estos proyectos es desarrollada con herramientas que permiten capturar los beneficios asociados a cambios en la estructura de la demanda, acorde con sus impactos esperados.

En atención a la magnitud de las inversiones que involucra un proyecto estructural, se hace recomendable utilizar costos a nivel de anteproyecto en la evaluación social, para la selección de alternativas.

Posteriormente se efectúa el perfeccionamiento de la alternativa elegida, tanto desde el punto de vista físico (si involucra obras o si se requiere analizar la necesidad de intervenir la infraestructura) como operacional, mitigando los eventuales impactos que se pudieran generar. En el caso en que la solución derivada de este análisis se modifique significativamente, sea en el monto de inversión o en el diseño físico u operacional, se debe modificar lo que corresponda, para luego evaluar nuevamente el proyecto y decidir su inversión.

### 2.3.2.2 Fases del análisis de un proyecto

#### a) Proyecto no estructural

El desarrollo y evaluación de proyectos no estructurales a nivel de prefactibilidad ha sido estructurado en tres fases sucesivas de nivel de detalle y objetivos diferentes.

- Fase I - Diagnóstico y análisis conceptual de soluciones: tiene como objetivo central hacer un detallado análisis de la situación actual y elaboración del diagnóstico, que junto con la definición de objetivos del proyecto permite identificar las alternativas preliminares.
- Fase II - Evaluación de las alternativas preliminares: se modelan y desarrollan las alternativas preliminares a nivel de prediseño, se selecciona la alternativa que pasa a la fase siguiente, entre las que presenten rentabilidades sociales superiores al umbral exigido.
- Fase III - Desarrollo y evaluación de alternativa(s) seleccionada(s): se elaboran los diseños físicos y operacionales a nivel de anteproyecto (para ciertos tipos de proyecto, a nivel de ingeniería de detalle), y se efectúa la evaluación social definitiva.

## b) Proyecto estructural

A diferencia de los proyectos no estructurales que solo consideran impactos a nivel de la asignación de viajes, en los proyectos estructurales se considera que además existen impactos en la demanda a nivel de generación, atracción, distribución y partición modal. Esto tiene como consecuencia que los proyectos estructurales no siguen estrictamente la secuencia de actividades planteada en el punto anterior y requieren contar con metodologías específicas para el tratamiento de ciertos aspectos, que son desarrolladas en el MESPE.

No obstante lo anterior, en muchos casos, el análisis a nivel de prefactibilidad de proyectos estructurales requiere de metodologías de análisis, criterios de diseño y conceptos de evaluación que son comunes a los proyectos no estructurales. Por lo tanto, si bien este Manual no indica el listado de actividades y su secuencia, sí permite contar con metodologías, procesos y criterios de análisis que son aplicables para el análisis de proyectos estructurales.

### 2.3.2.3 Precisión en el diseño vial

Acorde con el ciclo de vida de los proyectos de vialidad urbana, la precisión del diseño vial se define secuencialmente de la siguiente forma:

- **Solución conceptual:** Corresponde al nivel más primario en el desarrollo de una idea de proyecto. Su objetivo principal es la identificación de soluciones como respuesta a un objetivo determinado, así como la identificación de sus efectos sobre los principales elementos condicionantes de diseño levantados en el diagnóstico. Se define a partir de descripciones y especificaciones generales del emplazamiento del proyecto vial y de la identificación de obras relevantes y usuarios afectados.

Las inversiones se estiman a través de la asimilación a obras tipo o similares, con inversiones conocidas.

- **Prediseño:** Se precisa la recopilación de antecedentes y se desarrollan los estudios de base necesarios para conocer las características del espacio en el cual se emplazarán las distintas soluciones. Sobre esta base, se plantean alternativas definiendo las características físicas y operativas, las que se someten a un proceso de simulación y evaluación. Los resultados de dicho proceso permiten priorizar y seleccionar un número reducido de alternativas.

La estimación de inversiones se hace sobre la base de la cuantificación de obras identificadas en memorias, planos y especificaciones desarrollados según las precisiones propias de este nivel de análisis.

- Anteproyecto: Se agrega información al estado anterior del proyecto, complementando y precisando aún más los estudios de base, mediante representaciones gráficas de las materias que hasta ese momento hayan sido consideradas en forma general, y a través de cálculos que precisen la posición, forma y cuantía de las obras representadas.

La estimación de inversiones se efectúa sobre la base de la cuantificación de obras identificadas en memorias, planos y especificaciones desarrollados según las precisiones que le corresponden a este nivel, disminuyendo de esta forma los riesgos asociados a la decisión de inversión.

- Ingeniería de detalle: Este nivel de precisión es el exigido en la etapa de diseño, y generalmente tiene lugar una vez tomada la decisión de ejecutar las obras estudiadas.

## Sección 2.4 Relación entre el ciclo de vida y las tipologías de proyecto

El esquema presentado en la Tabla 2.3.2-1 relaciona la tipología de proyectos definida en este manual con las etapas del ciclo de vida de los proyectos. Indica además la relación de los tipos de proyectos y etapas del ciclo de vida con los principales manuales en donde se abordan los procedimientos de análisis, diseño y evaluación.

Tabla 2.3.2-1  
Ciclo de vida y tipologías de proyecto

Impacto en la demanda	Proyecto no estructural	Escala	Impacto en el patrón de Flujos	Ciclo de Vida	Enfoque de análisis	Manual
		Corriente	Con Reasignación	Idea / Perfil	Táctico (excepto si pertenece a un plan estratégico evaluado)	Mespivu
				Prefactibilidad	Táctico	Mespivu/Redevu
				Diseño	-	Mespivu/Redevu
			Sin Reasignación	Idea / Perfil	Táctico (excepto si pertenece a un plan estratégico evaluado)	Mespivu
				Prefactibilidad	Táctico	Mespivu/Redevu
				Diseño	-	Mespivu/Redevu
		Menor	Con Reasignación	Idea / Perfil	Táctico	Mespivu
				Diseño	-	Mespivu/Redevu
			Sin Reasignación	Idea / Perfil	Táctico	Mespivu
Diseño	-			Mespivu/Redevu		
Proyecto estructural	Modelo Disponible	Ciclo de Vida	Enfoque de análisis	Manual		
	Con modelo de análisis estratégico del sistema de transporte urbano (STU)	Idea / Perfil	Estratégico	Mespe/Redevu		
		Prefactibilidad	Táctico	Mespivu/Redevu		
		Diseño	-	Mespivu/Redevu		
	Sin modelo de análisis estratégico del sistema de transporte urbano (STU)	Idea / Perfil	Estratégico	(*) /Redevu		
		Prefactibilidad	Táctico	Mespivu/Redevu		
		Diseño	-	Mespivu/Redevu		

(\*) U otra metodología aprobada por MDS.

## Capítulo 3 Aspectos conceptuales para el desarrollo de los proyectos

### Sección 3.1 Formulación y análisis económico de un proyecto

#### 3.1.1 Integración de políticas públicas y proyectos de inversión

##### 3.1.1.1 Estructura integrada del proceso de planificación

La definición de proyectos de carácter público se enmarca dentro de un proceso de planificación integrada, en el cual se distinguen tres etapas. La primera etapa de este proceso es de definición de políticas y planes, en la que se especifican los objetivos globales del sistema. La segunda es la conformación de programas, en que se definen los presupuestos agregados por áreas temáticas del plan. La tercera etapa es la de proyectos propiamente tal, definiéndose en ella las acciones o intervenciones específicas sobre el sistema, y es la más relacionada con los contenidos de este manual.

Un aspecto importante que se debe considerar al evaluar un proyecto es verificar la consistencia del proyecto con las políticas, planes y programas que le corresponden. De esta forma se puede mejorar la gestión integrada de proyectos, con el fin de lograr una mejor asignación de recursos.

La relación de jerarquía en la planificación se representa entonces como sigue:

Políticas y planes	→	Programas	→	Proyectos
Objetivos estratégicos		Objetivos específicos y presupuestos		Acciones e intervenciones específicas

##### 3.1.1.2 Objetivos nacionales, regionales y locales

Todo proyecto debe definir en una etapa temprana sus objetivos específicos, que deben sumarse a los definidos en las políticas, planes y programas que se encuentren vigentes a nivel nacional, regional y local.

Debe considerarse también que la formulación, análisis y evaluación de proyectos actualmente se desarrolla en un contexto político- administrativo en el que existe una diversificación institucional que dificulta la fluidez del proceso de planificación integrada. En el caso de la vialidad urbana, debe tomarse en cuenta la participación de las distintas entidades del sector público (además de la que origina la idea del proyecto) que tienen relación con el uso de suelo, la planificación urbana y de transporte a nivel regional o comunal y el medioambiente, y de los actores afectados por la intervención en el sistema de transporte, que pueden ser representados, por ejemplo, por las autoridades a nivel regional o local. Un desafío para el analista es definir en etapas tempranas de análisis del proyecto cuáles serán los objetivos y restricciones que enfrentará en la búsqueda de las soluciones más apropiadas.

### 3.1.1.3 Rol de la evaluación

La relevancia de la evaluación de proyectos se basa en al menos los siguientes puntos:

- Los resultados de la evaluación son el insumo fundamental para orientar las decisiones de inversión, para discriminar entre diferentes alternativas o para priorizar entre distintos proyectos.
- La conveniencia de aumentar el nivel de comprensión de los impactos que generan los proyectos de vialidad urbana, ya sean vinculados a recursos económicos o a impactos no económicos. Se estima importante compartir experiencias y metodologías entre proyectos de similar o diferente naturaleza y aplicados en distintos ambientes geográficos, para lo cual se requiere una estandarización metodológica.
- Los análisis *ex post* permiten comparar y aprender en relación con la validez de los supuestos y métodos usados en la evaluación, por lo que son un elemento clave para la posterior generación de mejores proyectos.

El propósito principal de estructurar la evaluación del proyecto en niveles sucesivos de análisis, es generar precisiones continuas en el proyecto durante su desarrollo, lo que permite desarrollar actividades más costosas solo para los proyectos que con mayor probabilidad resulten rentables socialmente. Con este enfoque, la evaluación constituye un componente esencial de una buena gestión de proyectos.

La evaluación puede integrar aspectos cuantitativos y cualitativos, siendo de suma importancia que tengan metas y objetivos establecidos explícitamente, que sean medibles y que exista un consenso entre los distintos actores y participantes del proyecto.

## 3.1.2 Rol del analista en la evaluación

Es recomendable que la evaluación sea realizada por un especialista que no tenga interés directo en la ejecución del proyecto, de tal forma que se garantice su objetividad e independencia. Se requiere que desde su inicio el analista se involucre en:

- Identificar los actores relevantes del proyecto.
- Obtener de los actores un conjunto significativo de metas y objetivos para el proyecto y sus prioridades relativas.
- Facilitar el consenso en términos de las medidas o indicadores (adicionales a los económicos) que reflejarán mejor el grado de éxito en el logro de las metas priorizadas.
- Comunicar cambios en las metas, objetivos y medidas durante el avance del ciclo de vida del proyecto.
- Considerar adecuadamente las incertezas técnicas, políticas y financieras asociadas al proyecto, de tal manera que los supuestos realizados no distorsionen los resultados de la evaluación.
- Velar por un desarrollo metodológico riguroso en cada etapa del ciclo de vida del proyecto.

Es importante que el analista sea especialmente cuidadoso al establecer los supuestos sobre los cuales se sustentará la evaluación. En muchas ocasiones los resultados de una evaluación dependen de la calidad y validez de los supuestos relacionados con el comportamiento futuro tanto de actores privados como públicos. Por ejemplo, ¿habrá o no capacidad de aplicar una determinada política pública? ¿Se ejecutarán o no proyectos de inversión que se encuentran en la cartera de inversiones y que se han considerado en la situación base?

Otro rol del analista se relaciona con la calidad del reporte de evaluación del proyecto, tanto en su estructura como contenido. Los informes que reportan el proceso de evaluación y que facilitan los análisis *ex post* de proyectos constituyen uno de los elementos claves para la construcción e innovación en metodologías de evaluación.

### 3.1.3 Condicionantes y restricciones

#### 3.1.3.1 Identificación de condicionantes

Forma parte de la metodología la incorporación temprana de todas las circunstancias y elementos condicionantes reales que pueden afectar la identificación y selección de alternativas. Estas pueden ser de carácter general, como por ejemplo, la normativa y legislación vigente, o bien de carácter particular en el área de intervención y análisis, como: la geografía, la conectividad, la estética y significado, la categoría de las vías, los impactos de factores naturales, sociales, políticos y económicos. Para ello, además de una exhaustiva búsqueda de antecedentes, que consideren visitas a terreno, es recomendable incorporar instancias de participación de autoridades públicas y actores privados que permitan asegurar la viabilidad de ejecución, el diseño y la selección del mejor proyecto.

#### 3.1.3.2 Participación de actores e involucrados

La participación de actores e involucrados es una actividad que se ha incorporado cada vez con mayor fuerza dentro de la preparación y evaluación de proyectos. Ella busca identificar la cantidad y relevancia de los intereses que los proyectos de transporte afectan, además de enriquecer el conocimiento de una situación que justifica el análisis de un proyecto y la identificación de alternativas de solución.

El proceso de participación de involucrados permite fijar estrategias a seguir de acuerdo con los resultados del análisis, conocer cuál alternativa es mejor recibida por ellos y, de esta forma, hacer una mejor planificación del proyecto desde su inicio. Es en esta etapa cuando se debe detectar cómo se movilizarán los distintos actores según sus intereses, por lo que los enfoques participativos son fundamentales.

#### 3.1.4 Análisis *ex post*

La evaluación *ex post* es una herramienta recomendable para analizar la validez de los supuestos empleados en el análisis y la efectividad de los proyectos de transporte diseñados y evaluados socialmente con la metodología de este manual. También es útil para verificar si los análisis de transporte fueron los adecuados, abriendo la posibilidad de perfeccionar continuamente sus métodos.

La verificación de la efectividad del proyecto surge del análisis de indicadores de funcionamiento del sistema de transporte en el área de referencia. Si se tiene un grado aceptable de consistencia, se puede afirmar que los métodos utilizados para seleccionar y diseñar el proyecto fueron

adecuados. En el caso de que no lo sean, será parte del análisis *ex post* la identificación de la fuente de error, con el fin de permitir el perfeccionamiento continuo de los procedimientos utilizados.

## Sección 3.2 Diseño vial urbano

### 3.2.1 Aspectos generales

El diseño vial urbano comprende el proceso de identificación, ordenamiento, dimensionamiento y especificación de los componentes del espacio vial urbano involucrados en la solución de las necesidades de movilidad de los diversos usuarios (motorizados y no motorizados), desde una óptica de equilibrio e integración. Por ello no debe entenderse solo como un proceso de parametrización geométrica de elementos viales de las calzadas.

En este sentido, el manual aborda los aspectos de diseño vial referidos a las exigencias impuestas por el SNI, que varían según la etapa del ciclo de vida en que se están desarrollando.

Luego, antes de iniciar un proceso de diseño vial urbano, en cualquiera de sus niveles, es fundamental caracterizar el objeto de diseño, que corresponde al espacio público definido a lo ancho de las vías urbanas, y sus componentes principales. Se requiere además saber identificar a los potenciales usuarios y sus necesidades de movilidad, así como las circunstancias y elementos condicionantes reales que imponen los espacios afectados para la implementación de una solución vial urbana. Solo a partir de lo anterior se pueden desarrollar los procedimientos necesarios para organizar y dimensionar los componentes en los espacios establecidos.

En la Sección 12.1 del manual se describen y definen los conceptos y terminología empleados en este manual en relación con el diseño vial urbano.

### 3.2.2 Secuencia del diseño vial urbano

La secuencia de desarrollo del proceso de diseño vial urbano es la que se presenta a continuación:

- Identificación de condicionantes para diseño: A partir del diagnóstico de la situación actual, el diseñador debe identificar de manera precisa las circunstancias y elementos condicionantes para el diseño en materias de urbanismo, ambiente, transporte e infraestructura, para la situación actual (permanentes) y de puesta en servicio del proyecto (variables). Estas pueden ser particulares del proyecto y su entorno (flujos,

geografía, actividades de borde, etc.), o genéricas y aplicables a cualquier lugar (requisitos de usuarios y vehículos, normativa y legislación, etc.).

- Proceso de composición: corresponde a la identificación de los componentes viales urbanos (unidades, fajas, dispositivos y elementos) involucrados en las soluciones y el desarrollo de una propuesta de ordenamiento de las mismas, con el objeto de satisfacer necesidades de movilidad de usuarios motorizados y no motorizados, desde una óptica integral y equilibrada.
- Proceso de dimensionamiento y especificación: luego del proceso de composición sobre la totalidad del espacio vial involucrado, se procede a dimensionar y especificar los componentes geométricos y operativos que definen la solución vial urbana propuesta.

### 3.2.3 Consideraciones respecto de la precisión del diseño vial urbano

Los factores más gravitantes sobre las decisiones respecto de las precisiones del diseño vial urbano en cada nivel de análisis, así como de la cuantía de información que describirá las situaciones actual y proyectada, son los siguientes:

- Dificultades para precisar costos: de existir incertidumbres o complejidades particulares de las circunstancias condicionantes (topográficas, geométricas, constructivas o de otra índole), se recomienda un mayor grado de desarrollo del proyecto estudiado en las materias u obras específicas en las que se presentan tales riesgos o dificultades.
- Intereses afectados: en la medida que las obras nuevas afecten, por ejemplo, usos más arraigados, obras existentes de mayor costo de reposición y sensibilidades públicas más altas, se recomienda una mayor profundidad del estudio en los temas correspondientes.
- Disponibilidad de antecedentes aprovechables: los proyectos de ingeniería parten con datos de la situación actual –planimetría, altimetría, catastros varios, mediciones de tránsito– que provienen de los estudios preliminares. Esos datos pueden requerir algunos perfeccionamientos que pueden ser menores si los antecedentes son recientes, y si los atributos de la información que ellos contienen se acercan a lo especificado para proyectos de ingeniería, y más costosos mientras más antiguos y simplificados hayan sido los trabajos de base en dicha etapa previa.

## Sección 3.3 Análisis urbano-ambiental

### 3.3.1 Conceptos generales

El análisis urbano-ambiental, dentro del proceso de formulación y evaluación de proyectos de vialidad urbana, es relevante principalmente en dos instancias. Por una parte, la incorporación de la dimensión urbano-ambiental dentro del diagnóstico. Por otro lado, la adecuada identificación de los impactos de las distintas alternativas de solución. Ambas instancias contribuyen a la generación de mejores proyectos.

Las variables urbano-ambientales que deben ser caracterizadas, en el marco del diagnóstico para la evaluación de proyectos de vialidad urbana, pueden ser agrupadas en tres dimensiones: la población, su entorno y la normativa que los regula, que son descritas a continuación.

**Población:** Se considera la población que habita, visita o está de paso en el área en estudio, las actividades y los movimientos que la población realiza, y su bienestar desde el punto de vista de la salud y la seguridad.

**Entorno:** Esta dimensión incluye al paisaje y a los inmuebles urbanos, es decir, el entorno tanto natural como construido, emplazado en el espacio público o privado y desde el punto de vista de su uso, valor y significado.

**Regulaciones:** Se considera la normativa territorial y ambiental que regula tanto las actividades de la población como su entorno natural y construido, por medio de normativas y reglamentos pertenecientes a las instituciones y autoridades tanto nacionales, regionales como locales.

El proceso de identificación de impactos, dentro del análisis para la comparación de alternativas, aborda las dos primeras dimensiones mencionadas anteriormente.

### 3.3.2 Consideraciones respecto a las zonas y unidades del espacio público

Los proyectos de vialidad urbana que contempla el análisis urbano-ambiental se localizan en el espacio público y abarcan las zonas vehiculares, las peatonales y aquellas compartidas, en donde calzadas, aceras, separadores y unidades mixtas se desarrollan con todos sus componentes.

El análisis urbano-ambiental abarca estas zonas, sus unidades y los elementos que las conforman, también aquellas que se encuentran en el espacio circundante y dentro del área de influencia de los proyectos, formen parte del espacio público o del espacio privado.

### **3.3.3 Escala y nivel de detalle del análisis urbano-ambiental**

Como parte del análisis urbano-ambiental, deberá definirse la escala de los impactos esperados del proyecto, la que define el ámbito geográfico en el cual se enmarca la comparación de alternativas.

Por otra parte, se diferencian tres niveles de detalle o profundidad: uno general, uno particular, y uno específico, asociado cada uno de ellos a un nivel de análisis (Perfil, Prefactibilidad y Diseño, respectivamente).

## PARTE II

---

### METODOLOGÍAS GENERALES

## Capítulo 4 Aspectos metodológicos generales

### Sección 4.1 Análisis a nivel de perfil

El objetivo de la evaluación a nivel de perfil es obtener una primera estimación de la rentabilidad del proyecto, principalmente sobre la base de antecedentes existentes y análisis simplificados, estableciendo un juicio inicial acerca de la eficacia y coherencia de las ideas analizadas e identificando los riesgos asociados a la factibilidad de materializarlas (técnico, económico, legal u otro).

La estimación de los montos de inversión se realiza por asimilación a otros proyectos ejecutados de características similares, a través de la aplicación de costos por kilómetro para tramos característicos y de inversiones de soluciones tipo en obras específicas.

La estimación de beneficios para la evaluación se realiza a partir de cálculos simplificados o modelaciones, cuando se dispone de un modelo de transporte existente para el área de análisis.

En el caso de los proyectos estructurales, el análisis a nivel de perfil se realiza utilizando el enfoque establecido en la Metodología para el Análisis de Sistemas de Transporte Urbano en Grandes Ciudades y Ciudades de Tamaño Medio (MESPE). En el caso particular de proyectos que forman parte de un plan estratégico evaluado, la modelación y evaluación estratégica del plan se considera como un análisis a nivel de perfil válido, el que permite que sus proyectos pasen a la etapa de prefactibilidad sin requerir evaluaciones individuales a nivel de perfil.

En el caso de los proyectos menores, dado sus bajos montos de inversión y, por lo tanto, menores incertidumbres y riesgos, es suficiente el análisis de perfil para decidir su inversión, por lo que pasan directamente a la etapa de diseño para su ejecución. En este caso, la etapa de perfil incluye el análisis de alternativas, si procede.

La evaluación social en este nivel considera criterios, metodologías e indicadores equivalentes al nivel de prefactibilidad, la diferencia radica en que en la etapa de perfil las estimaciones de beneficios e inversiones provienen de análisis y cálculos simplificados.

Las tareas mínimas que debiera considerar un análisis de perfil son las siguientes:

- Identificación del proyecto: Descripción de las características principales del proyecto, tales como localización, tipo de intervención, año esperado de inversión, velocidad y rugosidad media proyectada.
- Situación base: Descripción de la situación de referencia respecto de la que será evaluada el proyecto, definida en términos de los proyectos considerados, su longitud, perfil transversal, rugosidad y velocidad media de la red.
- Datos de tránsito horario por tipo de vehículo y período: Antecedentes de tránsito disponibles para el análisis, expresado en términos de flujos horarios en cada período representativo, identificando el año de medición.
- Factores de expansión por período: Estimación de la representatividad de cada período a lo largo del año, lo que permite estimar los beneficios anuales por tipo de vehículo.
- Tasas de crecimiento: Estimación de tasas de crecimiento del tránsito por tipo de vehículo en el área de referencia.
- Tasas de ocupación vehicular: Determinación de las tasas de ocupación promedio de cada tipo de vehículo por período.
- Diagnóstico y pronóstico de la situación actual: Identificación de los problemas existentes en el área de estudio, factibles de ser resueltos a partir de la implementación de un proyecto de vialidad urbana. El diagnóstico se debe desarrollar en forma multidisciplinaria y busca establecer las causas de la problemática identificada.
- Levantamiento de ideas: Identificación de todas las ideas de solución a los problemas detectados en el diagnóstico y orientado a resolver los objetivos planteados por el proyecto en análisis, seleccionando las ideas viables y descartando justificadamente las que no se analizarán a nivel de perfil.
- Desarrollo de ideas a nivel de solución conceptual: Definición de acciones por tramos característicos e identificación de obras singulares relevantes, para cada una de las soluciones que se analizan a nivel de perfil.
- Presupuesto de inversión a precios privados: Identificación de montos de inversión en precios privados para partidas agregadas.

- Valorización social de las inversiones: Determinación de la inversión a precios sociales a partir de la aplicación de un factor global o de factores de corrección para cada partida identificada en el punto anterior.
- Estimación de beneficios del proyecto: Determinación de los ahorros producidos por el proyecto, los que provendrán de reducciones en tiempo de viaje, distancia de recorrido, consumo de combustible y otros costos de operación.
- Proyección de beneficios: Determinación de los beneficios para cada año del horizonte de evaluación, basada en la tasa de crecimiento del flujo vehicular.
- Rentabilidad social del proyecto: Estimación de los indicadores de rentabilidad social del proyecto, los que permiten identificar la conveniencia de pasar a un análisis más detallado del proyecto.

Para realizar las tareas anteriores es posible utilizar algunos de los procedimientos descritos en la Parte III del manual, según los antecedentes de los que se dispongan.

## **Sección 4.2 Análisis a nivel de prefactibilidad de proyectos no estructurales**

En la etapa de prefactibilidad, el manual aborda la evaluación social de proyectos de vialidad urbana describiendo en detalle la metodología para su desarrollo.

En esencia, todos los tipos de proyectos que se pueden evaluar con este manual, poseen fases de análisis muy similares. Las diferencias radican fundamentalmente en ciertos alcances, principalmente en lo que respecta a los impactos generados por la intervención.

A continuación se describe cada una de las fases de análisis necesarias para el desarrollo de una prefactibilidad. Se incluyen además, para los proyectos corrientes, diagramas que permiten visualizar la secuencia y relación entre fases y entre cada una de sus tareas, indicando las referencias pertinentes a los capítulos o secciones en donde se describen las metodologías generales (Parte II) y específicas (Parte III) para realizar cada actividad.

### **4.2.1 Fase I: Diagnóstico y definición conceptual de soluciones**

En primer lugar, se debe definir el contexto espacial y temporal para el análisis del proyecto. Esto implica definir un área de referencia dentro de la que se estimarán sus impactos y los períodos representativos de la demanda.

Las principales actividades presentes en esta fase son:

- La recopilación de información disponible y el desarrollo de los estudios de base son necesarios para construir un modelo predictivo de la operación del sistema de transporte, que sirva de apoyo al diseño físico y operacional del proyecto, y al análisis urbano ambiental.
- La calibración del modelo de transporte en la situación actual, permite ajustar sus parámetros con el objeto de validar su capacidad predictiva. Adicionalmente, la calibración entrega antecedentes cuantificables para la elaboración del diagnóstico y pronóstico operacional. El modelo calibrado permite predecir el comportamiento del sistema ante la operación de las distintas alternativas de proyecto, y con ello determinar los beneficios asociados a cada una de ellas.
- El diagnóstico y pronóstico de la situación actual buscan identificar los problemas existentes en el área de referencia, así como sus posibles causas, factibles de ser abordadas a partir de la implementación de un proyecto de vialidad urbana. El diagnóstico se debe desarrollar en forma multidisciplinaria.

Esta fase concluye con la discusión y definición conceptual de soluciones viales que responden a los objetivos del estudio y permitan resolver los problemas identificados en el diagnóstico. Este proceso incluye una presentación de todas las ideas de solución, justificando el descarte de algunas de ellas y desarrollando a nivel conceptual las que se analizarán en la fase siguiente.

#### **4.2.2 Fase II: Evaluación de alternativas preliminares**

En esta fase se elabora el diseño físico y operacional de las alternativas preliminares definidas en la fase anterior, siguiendo por la identificación de obras complementarias necesarias para la implementación de cada proyecto desarrollado y los impactos en el espacio afectado. La precisión del diseño de las alternativas y la estimación de costos se realizan a nivel de prediseño, cuantificando todas las obras identificadas para su materialización.

Luego se desarrolla la evaluación social de las alternativas, que incluye un análisis costo-beneficio de corto y largo plazo, según las características del proyecto. La evaluación social es complementada con el análisis de los impactos urbano-ambientales de las alternativas que resultaron rentables, para ofrecer una perspectiva amplia de los efectos de cada alternativa sobre el conjunto de actividades y personas que tienen relación con el área sujeta a proyecto.

A partir de las actividades descritas anteriormente se selecciona la alternativa que pasa a la fase de análisis siguiente, mediante un proceso de acuerdo que involucra todos los antecedentes técnicos elaborados en esta fase.

#### **4.2.3 Fase III: Desarrollo y evaluación de la alternativa seleccionada**

En esta fase se deben desarrollar los diseños de la alternativa seleccionada a nivel de anteproyecto o ingeniería de detalle, según corresponda al tipo de proyecto analizado, además de, si es necesario, complementar los estudios de base de la fase anterior, para lograr las precisiones correspondientes al diseño y a las inversiones asociadas, minimizando los riesgos técnicos y económicos para la etapa de diseño (ingeniería de detalle).

La definición del diseño físico y operacional debe permitir modelar, costear y evaluar el proyecto, con la precisión asociada a un anteproyecto, constituyéndose en una referencia para la etapa de diseño, en donde corresponderá validar el diseño vial y precisar los proyectos complementarios involucrados, con miras a la puesta en operación de la alternativa seleccionada.

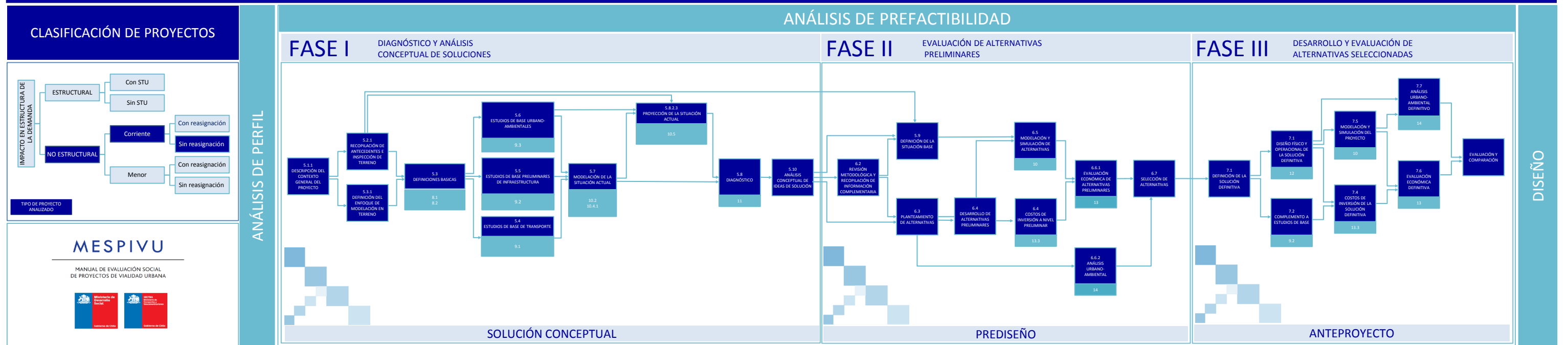
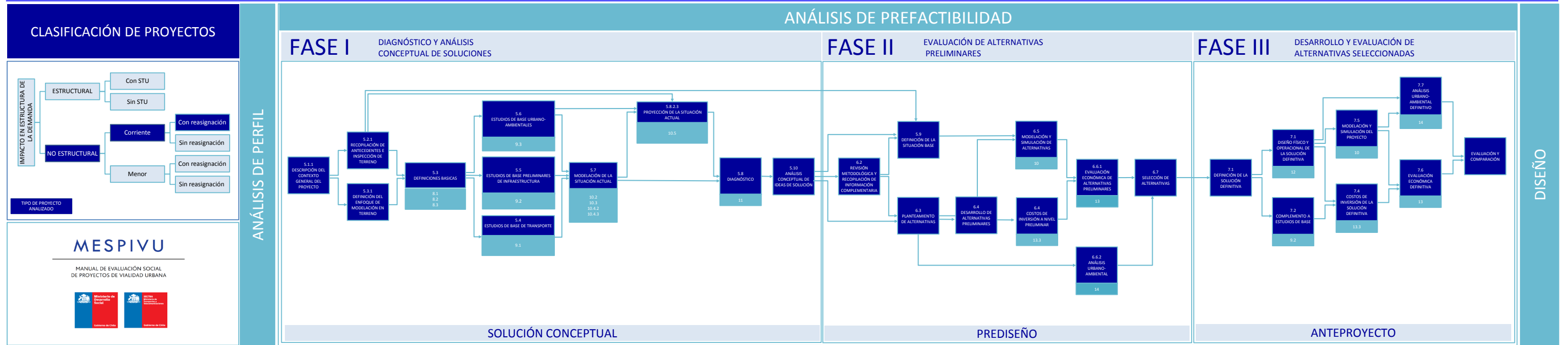
A nivel de anteproyecto la precisión del diseño operacional debe lograr el carácter de definitivo, dado que es la instancia en que el diseño vial urbano se puede depurar de manera acabada, a través del uso de aplicaciones computacionales especializadas en operación y diseño, y a partir del proceso interactivo entre diseñadores y modeladores. Posteriormente, en la etapa de diseño (ingeniería de detalle), solo se valida esta solución operativa proveniente del anteproyecto, especialmente si se detectan nuevas condiciones de diseño que no estuvieron presentes en el análisis anterior.

Además, cuando el alcance es a nivel de ingeniería de detalle (proyectos no estructurales menores), el diseño físico-operacional debe definirse con una precisión tal que sea posible su completa implementación.

Esta fase concluye con la evaluación social de la alternativa seleccionada, la que difiere de la realizada en la fase anterior en el nivel de precisión de la estimación de costos, y en el ajuste en la modelación de acuerdo con el diseño definitivo, perfeccionado en esta fase.

#### **4.2.4 Diagramas de modelación y evaluación según tipo de proyecto**

En la página siguiente se presentan los diagramas esquemáticos que ilustran el proceso para el análisis y evaluación de los tipos de proyectos corrientes de vialidad urbana considerados en este manual.



## Capítulo 5 Actividades Fase I: Diagnóstico y análisis conceptual de soluciones

### Sección 5.1 Descripción del contexto general del proyecto

#### 5.1.1 Contexto general del proyecto

Es recomendable iniciar esta fase con una descripción general del contexto en el que se enmarca el proyecto de infraestructura vial urbana. Esta descripción puede incluir aspectos tales como los antecedentes demográficos, de actividad económica, geográficos, de caracterización de la estructura urbana, identificación de polos importantes de atracción o generación de viajes, o cualquier otro que se considere relevante para fundar el análisis del proyecto.

Es necesario que el analista considere todos los aspectos del contexto urbano, para desarrollar soluciones viales coherentes con el ámbito en el cual son planteadas. Proyectos en áreas residenciales, comerciales o industriales, deben considerar las necesidades particulares asociadas al uso de suelo y las actividades que se desarrollan. También es relevante considerar la idiosincrasia propia de la comunidad en que se desarrolla el proyecto, es decir, los lineamientos particulares esperados por los residentes y las autoridades locales, ya sean comunales o regionales.

#### 5.1.2 Condicionantes de diseño

Las condicionantes de diseño son aquellos aspectos que limitan el desarrollo del proyecto, restringiendo las ideas de solución desde el punto de vista físico, funcional o normativo, y definen el contexto en el cual se pueden plantear las alternativas. Estas condicionantes son las que los analistas deben determinar de manera precisa como antecedente para la realización de los estudios de diagnóstico y se deben profundizar en la medida que se avanza en el desarrollo de un proyecto (análisis de alternativas y posterior desarrollo y evaluación del anteproyecto).

Las condicionantes de diseño pueden ser particulares del proyecto y su entorno, o genéricas y aplicables a cualquier lugar dentro del país.

Las características de las condicionantes de diseño se describen en la Sección 11.4 y se obtienen a partir de los estudios de base y de las conclusiones del diagnóstico integral del sistema de transporte intervenido o afectado por el proyecto.

Las condicionantes detectadas pueden ser administradas con cierta flexibilidad por los analistas - salvo las normativas- con el objeto de lograr la mejor solución que cumpla con los objetivos y requisitos establecidos.

En esta fase se deben identificar todas las condicionantes de diseño; lo contrario puede conducir a tomar decisiones erróneas en los análisis posteriores, generándose diseños que no resuelven los conflictos existentes, estimando mal inversiones o no modelando adecuadamente las alternativas analizadas.

### **5.1.3 Políticas de transporte y de otros sectores**

Es necesario identificar las políticas de transporte, así como políticas vigentes en otros sectores que puedan afectar al sector transporte, particularmente al área geográfica y al proyecto particular. También se deben considerar las políticas de uso de suelo y los planes concretos de desarrollo que impacten al área de referencia.

### **5.1.4 Identificación de oportunidades**

Es preciso identificar oportunidades en el marco del proyecto tales como: mejor uso de la infraestructura existente, recuperación de usos de suelo en el entorno, oportunidades para el transporte público, nuevas tecnologías, desarrollos urbanos dirigidos, entre otras. Este análisis puede ser útil para definir alternativas de proyecto y para la construcción de la situación base.

## **Sección 5.2 Recopilación de antecedentes y reconocimiento de terreno**

### **5.2.1 Recopilación y antecedentes de estudios existentes**

Se deben recopilar antecedentes de estudios previos o en desarrollo que sean de utilidad para llevar a cabo las distintas actividades involucradas en el desarrollo del proyecto en la etapa de prefactibilidad. Entre estos antecedentes se cuentan los siguientes:

- Estudios previos, aprobados o en desarrollo, relacionados con la problemática de transporte en el área de referencia, que incluyan diagnósticos o proposición de soluciones.

- Antecedentes de proyectos de inversión pública o privada en el área de referencia.
- Documentos normativos que rigen en las vías involucradas y su entorno.
- Bases de datos con información relevante, tales como conteos de flujos vehiculares y peatonales, encuestas origen-destino, entre otros, y modelaciones previas del área de referencia.
- Antecedentes recientes de transporte público, tales como catastros de servicios, frecuencias, actividad de paraderos, entre otros.
- Antecedentes históricos de accidentes (estadísticas), identificando su ubicación, gravedad, posibles causas, entre otras variables de interés.
- Antecedentes de instalaciones de servicios públicos y privados (existentes y programados), obtenidos especialmente de los organismos responsables.
- Antecedentes cartográficos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos, urbanísticos, y otros de ingeniería básica, que pueden ser de interés para el estudio.
- Estudios de infraestructura vial desarrollados en el área de referencia (soluciones físicas, operativas, urbanas, paisajísticas, de pavimentos y otras), que podrán ser empleadas como justificación de soluciones en las fases de análisis de alternativas y para la validación del proceso de inversiones.
- Antecedentes de futuros proyectos inmobiliarios, así como las eventuales intervenciones que pudieran tener sobre la vialidad.
- Antecedentes de precios unitarios de partidas y obras tipo en el área de proyecto y su entorno, incluyendo valores de eventuales expropiaciones.
- Antecedentes de obras especiales, tales como las marítimas, ferroviarias, defensas fluviales, colectores, estructuras, etc.

El énfasis de la recopilación de información debe estar en aquellos aspectos relacionados con el diagnóstico de la situación actual y con la definición de la situación base, en particular en lo relativo a los proyectos de inversión pública o privada previstos en el área de referencia, y en la identificación de condicionantes de diseño en cualquiera de las especialidades involucradas en el diagnóstico (urbanismo, transporte e infraestructura).

Respecto a antecedentes de transporte, es necesario establecer si es válido utilizar parte de ellos para la evaluación y diseño del proyecto y, en caso afirmativo, si requieren o no actualizarse. El catastro operativo en general es un antecedente que puede considerarse válido y que por lo tanto puede construirse actualizando uno existente, proceso que puede realizarse aprovechando herramientas tecnológicas para visualizar la vialidad. De la misma forma, matrices de viajes existentes pueden servir de base para generar versiones actualizadas a partir de conteos de flujo u otros antecedentes. No obstante, en ciertos casos puede ser preferible utilizar directamente los datos de una encuesta de viajes existente. En ambos casos la validez de la información de viajes depende de si han ocurrido cambios en los usos de suelo o en las condiciones de operación del sistema de transporte, lo que deberá ser evaluado por el analista. Las mismas consideraciones valen para el uso de redes de modelación anteriores.

En materia de diseño, se debe tener presente que los análisis de soluciones a nivel de prediseño, se pueden desarrollar sobre antecedentes (topográficos, hidrológicos, geotécnicos, urbanísticos u otros) recolectados de estudios existentes u obtenidos de archivos técnicos en los organismos responsables, validados en terreno a partir de inspecciones visuales y mediciones simples.

## **5.2.2 Reconocimiento de terreno**

### **5.2.2.1 En el ámbito de transporte**

El reconocimiento de terreno desde la perspectiva del transporte debe orientarse a dos objetivos principales. El primero, es adquirir una visión general del área de referencia, para lo que se requiere observar los conflictos y fenómenos que se presentan en la red vial en los distintos períodos del día, asociados a vehículos motorizados y a usuarios no motorizados, y conocer el entorno en el que se desenvuelve el tránsito en los distintos sectores del área de referencia. El segundo objetivo dice relación con la planificación de mediciones de tránsito a ser ejecutadas en el estudio, apoyando la definición de localización de puntos de control, en particular de aquellos que requieren un tratamiento especial para garantizar el levantamiento de información requerida en condiciones de seguridad.

### **5.2.2.2 En el ámbito de la infraestructura**

Esta actividad es fundamental para identificar condicionantes relevantes para el diseño y los impactos principales sobre la vialidad, instalaciones y predios adyacentes, así como para la identificación preliminar de obras relevantes.

La inspección de terreno se realiza con el apoyo de una cartografía general y participan los profesionales relacionados con las principales especialidades del proyecto. El producto de esta inspección debe traducirse en documentos gráficos (planos y fotografías), reportando las indicaciones necesarias para la planificación de los estudios de base de infraestructura que se desarrolla en la fase siguiente de análisis de alternativas preliminares.

### **5.2.2.3 En el ámbito del urbanismo y medio ambiente**

La inspección de terreno para efectos de la especialidad urbano-ambiental tiene como objetivo apoyar el diagnóstico y la definición de condicionantes urbanas y ambientales del área de proyecto y su entorno.

A partir del trabajo en terreno, se deben identificar las debilidades y fortalezas que presenta el eje y su entorno, y definir la importancia relativa de éstas dentro de las categorías y variables involucradas.

### **5.2.3 Consulta a agentes involucrados**

Es deseable que durante el desarrollo de la etapa de prefactibilidad, se establezcan instancias de participación de las autoridades locales y, en algunos casos, con representantes de la comunidad.

La consulta a los actores involucrados busca recopilar otros antecedentes que dispongan las autoridades locales que sean de interés para el estudio y conocer sus visiones sobre la problemática de transporte y las condicionantes asociadas a las soluciones que se propongan.

## **Sección 5.3 Definiciones básicas**

### **5.3.1 Definición del enfoque de modelación**

El enfoque de modelación determina el conjunto de actividades necesarias para representar los fenómenos de tránsito que se consideran relevantes dentro del sistema de transporte, que existen o se prevé existirán en una determinada área y en un determinado período de tiempo. Los enfoques de modelación difieren principalmente en el nivel de agregación con que estos fenómenos son representados y, consecuentemente, en el costo de implementación de los modelos.

El enfoque de modelación condiciona los requerimientos de información y también, en algunas circunstancias, la forma de obtención de los datos. En este sentido, es importante tener presente

que la robustez de un modelo dependerá en gran medida de la cantidad y calidad de los datos de entrada provenientes de los estudios de base.

En la Sección 8.1 se entregan criterios y recomendaciones para definir el enfoque de modelación de transporte a utilizar.

### **5.3.2 Definición del área de referencia**

El área de referencia se define como aquella en la que se espera observar los impactos de la materialización del proyecto, los que son medidos a través de las modificaciones en los flujos, demoras, velocidad de operación, capacidad y otras variables de tránsito. Para esto se requiere tener un conocimiento a priori del área en estudio, para luego, a través del juicio del analista, determinar su extensión.

En la definición del área de referencia se debe considerar el dinamismo esperado del área estudiada y sus alrededores, teniendo en cuenta que será conveniente incluir sectores donde en pocos años se puede producir un desarrollo significativo asociado a usos residenciales o de equipamiento, pues esto incidirá en la evaluación y diseño del proyecto.

El área de referencia debe considerar también la escala del proyecto que se quiere analizar, de modo que los recursos utilizados en su diseño y evaluación sean consistentes con la inversión involucrada.

A continuación se enuncian consideraciones que contribuyen a una delimitación apropiada del área de referencia.

#### **5.3.2.1 Delimitación para proyectos sin reasignación**

En el caso de proyectos que no producen reasignaciones de viajes, el área debe comprender la zona sujeta a modificaciones (nudo, tramo o conjunto de tramos de vías) más la intersección adyacente relevante a cada nudo, aguas arriba y aguas abajo.

Una intersección se considera relevante cuando está semaforizada o cuando corresponda a una intersección de prioridad cuyo flujo (vehicular o peatonal) es mayor que el de otras intersecciones de prioridad cercanas, lo cual debe ser evaluado por el analista.

### 5.3.2.2 Delimitación para proyectos con reasignación

En proyectos con reasignación de viajes es necesario delimitar el área de referencia en relación con los cambios previsibles en la asignación del transporte privado y en los recorridos de transporte público que inducirá el proyecto en estudio, incorporando aquellas rutas que tengan relación directa o indirecta con las vías intervenidas. La identificación de estos ejes y de rutas alternativas en la red es un aspecto central para definir esta delimitación. La existencia de una modelación a nivel estratégico es un antecedente complementario para apoyar la definición del área de referencia.

El juicio del analista jugará un rol importante en la adecuada definición del área de referencia, a fin que todos los impactos que pudiera producir el proyecto queden circunscritos al interior de ella.

### 5.3.3 Tipología de usuarios

El diseño vial y la evaluación social de un proyecto de transporte deben considerar los efectos y necesidades de todos los usuarios afectados directa o indirectamente por su construcción o funcionamiento.

En términos generales es posible agrupar a los usuarios en dos categorías básicas: motorizados y no motorizados, sin perjuicio de que, en función de los objetivos del estudio, sea conveniente utilizar clasificaciones adicionales, por ejemplo, las basadas en características socioeconómicas.

#### 5.3.3.1 Usuarios motorizados

En este caso, la categorización se realiza de acuerdo a los vehículos que utilizan, para luego cuantificar los efectos sobre los usuarios a través de las respectivas tasas de ocupación. Las categorías de vehículos que se recomienda utilizar son las que se indican a continuación, a menos que su presencia sea poco significativa o no tenga relación con los objetivos del estudio.

- Automóvil o camioneta
- Taxi
- Taxi colectivo
- Minibús
- Taxibús
- Bus
- Bus articulado
- Bus institucional

- Bus interurbano
- Furgón escolar
- Camión simple
- Camión articulado
- Motocicleta
- Otros (ascensores, transbordadores, funiculares, teleféricos, etc.)

En casos especiales, se podrán considerar otras categorías o desagregaciones de las anteriormente señaladas.

En materias de diseño vial, respecto a características y necesidades funcionales de usuarios motorizados, estas se pueden obtener, entre otros documentos, del REDEVU, del MOP (2013), además de manuales internacionales.

### **5.3.3.2 Usuarios no motorizados**

En el caso de los usuarios no motorizados se distinguen las siguientes categorías:

- Peatón
- Ciclista

En materias de diseño vial, respecto a características y necesidades funcionales de usuarios no motorizados, estos se pueden obtener de la siguiente documentación nacional: REDEVU, MOP (2013) o en SERVIU RM (2013), así como también de una gran variedad de documentación internacional.

Se considera como peatón a cualquier persona que camine por la ciudad, incluyendo en el grupo a las personas con discapacidad, de carácter permanente o temporal, incluidas aquellas con movilidad reducida con sus equipamientos especiales. Se considera ciclista a toda persona que se desplaza en una bicicleta. Los ciclistas pueden ser hombres, mujeres, jóvenes, niños, adultos mayores, entre otros, por lo que sus necesidades pueden ser muy variadas.

### **5.3.4 Unidades de medida de flujos vehiculares**

La heterogeneidad de los flujos vehiculares explica la necesidad de hacer algunas distinciones para efecto de la agregación de los flujos. Al sumar directamente los flujos de distintas categorías, se obtiene una cantidad expresada en vehículos por hora (veh/h). La unidad “vehículo” es heterogénea pues depende de la composición del tráfico. Por ello, existen unidades de referencia

a las que son convertidos los flujos mediante factores de equivalencia. Dos unidades son importantes:

- Vehículo equivalente (veq), que es una unidad genérica equivalente a un automóvil particular, con respecto al cual se representa el resto de las categorías, considerando principalmente el espacio vial utilizado.
- Automóvil directo equivalente (ade), que es una unidad genérica equivalente a un veq que sigue directo en una intersección, con respecto a la cual se compara el resto de los movimientos, considerando el impacto en la vialidad producido por los distintos virajes.

La conversión de flujos heterogéneos a unidades homogéneas se lleva a cabo mediante factores de equivalencia. Existen dos tipos de factores de equivalencia: por categoría de vehículo y por movimiento, los que se tratan por separado y como valores multiplicativos. El objetivo de los factores de equivalencia es obtener una medida de flujo que se independice de su composición vehicular. Por su parte, desde el punto de vista de la capacidad, los factores de equivalencia permiten independizarse también de los movimientos realizados por los flujos en una intersección. El fin práctico es contar con flujos y capacidades expresadas en una misma unidad. Los factores de equivalencia por categoría de vehículo se encuentran en el acápite 10.2.3.

### **5.3.5 Periodización y factores de expansión de beneficios**

Para estimar los beneficios de un proyecto de transporte es necesario predecir las condiciones de operación de la red vial, en cada semana tipo y para cada alternativa de proyecto definida. Las condiciones operacionales varían dentro de una semana y durante el día, ya que lo hacen los flujos y las capacidades. Por lo tanto, es incorrecto hacer la estimación de beneficios con valores promedio de estas variables, debido a que las demoras, el consumo de combustible y otras fuentes de beneficios guardan una relación no lineal con el flujo y la capacidad.

El proceso de periodización consiste en producir una partición de la semana tipo en períodos homogéneos. Dependiendo de los umbrales de homogeneidad que se fijen resultarán más o menos períodos, lo que incide directamente en los costos y duración de los estudios. Es por eso que se debe establecer un número limitado de períodos que generen una representación válida de las condiciones de circulación a lo largo de la semana tipo.

En cada período es necesario establecer además una hora representativa en la cual se realizarán las mediciones de flujos y tasas de ocupación, y la simulación para cada corte temporal en cada alternativa que se evalúe.

Los factores de expansión permiten estimar los beneficios anuales del proyecto a partir de los calculados para las horas representativas de los períodos modelados. Este proceso se sustenta en que la periodización definida es adecuada al tipo de proyecto y a las condiciones operacionales del área de referencia.

Se debe distinguir la periodización definida para efectos de modelación y evaluación, que se aborda en este manual, respecto de aquella que se define para la programación de semáforos en la etapa de operación del proyecto, que generalmente es más desagregada.

La metodología para determinar la periodización y los factores de expansión de beneficios se presenta en la Sección 8.2 del manual.

### **5.3.6 Zonificación**

La zonificación, que consiste en el proceso de división espacial del área de referencia en unidades homogéneas en relación con el sistema de actividades y la conectividad a la red, se requiere, entre otras razones, para construir una matriz de viajes que desagregue los flujos en función de las diversas unidades espaciales de las que provienen y a las que acceden, lo que permite analizarlos detalladamente. Para construir un modelo de transporte robusto, este proceso debe ser realizado en forma coherente y conjunta con la definición de la red vial y la planificación de los estudios de base de tránsito.

En la Sección 8.3 se entregan recomendaciones y criterios para definir la zonificación.

### **5.3.7 Definición de la red vial relevante**

En proyectos sin reasignación de flujos, la red vial relevante será directamente la conformada por las intersecciones y tramos de vía sujetas a proyecto.

En proyectos con reasignación de flujos, la red vial relevante estará constituida por aquellas vías que, por sus características, tengan un rol trascendente en la circulación en el área de referencia o que puedan verse afectadas (en términos de demanda y nivel de servicio) por las modificaciones físicas y operacionales generadas por el proyecto.

### **5.3.8 Cortes temporales y horizonte de evaluación**

La evaluación social se debe realizar para un horizonte consistente con la vida útil del proyecto, en el que es necesario definir cortes temporales que servirán como puntos de referencia para

proyectar la corriente de beneficios usados en la evaluación social. Se recomienda que el primer corte temporal sea el primer año de operación del proyecto.

Para los proyectos de gestión de tránsito, se recomienda un horizonte de evaluación de cinco años, y el uso de un único corte temporal.

Para los proyectos de infraestructura, la incerteza en la proyección de las variables del sistema de transporte no hace aconsejable el uso de modelos para años muy lejanos. Para estos proyectos se recomienda un horizonte de evaluación de 20 años, y el uso de un segundo corte temporal en el décimo año de funcionamiento.

En la Sección 13.2 se encuentran los procedimientos relacionados con la proyección de los beneficios.

#### **Sección 5.4 Estudios de base de transporte**

Los estudios de base de transporte tienen como objetivo recoger en terreno el conjunto de datos necesarios para realizar las distintas actividades involucradas en el diagnóstico y la modelación.

Se debe tener presente que la recolección de datos es una tarea compleja y muy relevante, por cuanto es el sustento de todos los desarrollos que se realizan en la prefactibilidad del proyecto. Por ello, puede requerir una cantidad importante de recursos para su realización.

Los estudios de base de transporte consideran comúnmente la realización de las siguientes actividades:

- Mediciones de flujo vehicular por tipo de vehículo.
- Mediciones de flujo de peatones.
- Encuestas origen destino por tipo de vehículo.
- Encuestas de preferencias sobre elección de ruta.
- Mediciones de tasas de ocupación por tipo de vehículo.
- Mediciones de velocidad y tiempo de viaje por tipo de vehículo.
- Mediciones de longitud de colas por pista.
- Mediciones de flujos de saturación.
- Catastros de recorridos de transporte público.
- Mediciones de frecuencias de transporte público.
- Catastros de rutas de camiones.

- Mediciones de perfil de carga por ejes en buses por servicio.
- Mediciones de actividad de paraderos de transporte público.
- Catastros operativos.
- Recolección de información de accidentes de tránsito.

Dado que las condiciones de tránsito están sujetas a variaciones entre distintos momentos del día, algunas de estas actividades deben ser realizadas para cada período considerado.

En la Sección 9.1 de este manual se describen los métodos para recoger en terreno estos antecedentes y las recomendaciones para establecer la cuantía de las mediciones.

## Sección 5.5 Estudios de base de infraestructura

El diseño vial urbano requiere, como información de base, una descripción, tan cabal como el nivel de análisis del proyecto lo amerite, de las superficies que conforman la plataforma vial a intervenir y de sus funcionalidades, y los objetos significativos existentes sobre y bajo ella. Esta información necesaria para describir la situación actual debe ser producida, organizada y representada de acuerdo a las necesidades del diseño, y debe facilitar la comprobación de las precisiones requeridas, las que dependerán principalmente de las bases cartográficas utilizadas.

La representación física y funcional de la situación actual en el área de proyecto se denomina Modelo de Situación Actual (MSA). Este debe representar el espacio público objeto del diseño, y la planta del mismo será base y referencia para los diversos catastros (uso de suelos, suelos y firmes, tránsito, servicios y estructuras) que el estudio requiera, dependiendo del nivel de desarrollo que los proyectos deban alcanzar para cada una de las áreas específicas presentes en el estudio.

Luego, el objetivo de los estudios de base de infraestructura es recoger la información de terreno fundamental para identificar las condicionantes del proyecto, realizar el diagnóstico de la situación actual y el pronóstico de la situación futura, fundamentar las soluciones y los diseños que se propongan en esta fase (solución conceptual) y en la siguiente (prediseño), y apoyar la identificación y cuantificación de las obras necesarias de cada solución, asegurando que estas sean factibles y que respondan a los objetivos del proyecto.

La obtención de esta información deberá ser entendida como un proceso continuo y flexible a lo largo del análisis de prefactibilidad, incluso del diseño definitivo de un proyecto, esto sin perjuicio de una programación que prevea la división y agrupamiento de esas tareas de acuerdo a las conveniencias del estudio en términos de calidad, plazos y costos. Una idea de solución plausible

no deberá ser descartada por la sola razón de no disponerse de la información mínima necesaria para desarrollarla.

La extensión y profundidad de esta información inicial dependerá del tipo de proyecto y del grado de definición previa del área de proyecto: cuando las áreas de referencia sean extensas y se presume que las obras viales a proyectar afectarían un área mucho menor, o cuando se trate de proyectos de gestión, la información inicial mínima será la que baste para representar la organización espacial de la plataforma pública en el área de referencia, para describir y localizar las obras o hitos naturales de valor significativo allí presentes, para apoyar las actividades de recolección y presentación de la información en general, y para servir como soporte gráfico del bosquejo de ideas. Si se consultan obras de infraestructura en un área de referencia que presumiblemente se verá afectada en gran medida por el proyecto, convendrá que la información inicial relativa a las disciplinas mencionadas alcance, para toda el área de referencia, el mínimo necesario para desarrollar las ideas seleccionadas hasta el nivel de prediseño.

En situaciones en que se tenga duda sobre la factibilidad técnica o económica de alguna obra -por falta de antecedentes de base- y que de ella dependiera la elección de una alternativa por sobre otra que no incorpore dicha intervención, necesariamente se deberá profundizar en el análisis, de manera de minimizar el riesgo o incertidumbre en las decisiones.

En cuanto a precisión y uniformidad de procedimientos para el levantamiento de estudios de base, en el caso de prediseños, se debe generar un Modelo de Situación Actual (MSA) que permita una estimación rápida y de bajo costo de la factibilidad técnica-económica de las obras proyectadas. Por ello, se pueden desarrollar sobre estudios de base recolectados de estudios existentes u obtenidos de archivos técnicos en los organismos pertinentes, validados en terreno a partir de inspecciones visuales y mediciones simples. Estos antecedentes son suficientes en este nivel, si permiten identificar las condicionantes relevantes de diseño que deben resolver las soluciones propuestas para lograr los objetivos del proyecto, y si además en la tarea de comparación y selección de alternativas, los atributos de algunos de los antecedentes empleados (suficiencia o actualización) no ponen en riesgo las decisiones resultantes.

Para el planteamiento de alternativas, al inicio del prediseño, el MSA requiere un mínimo de información inicial relativa a diversas materias, tal como se describe en la tabla siguiente, donde además se indica producto, validación, contenido mínimo y se hace referencia a la parte III del manual donde se describe el procedimiento para el levantamiento de esta información.

Tabla 5.3.8-1  
Levantamiento de información para generación del MSA para Prediseños

MATERIA	PRODUCTO	FUENTE DEL LEVANTAMIENTO	CONTROL DE VALIDACIÓN Y ACTUALIZACIÓN	PROCEDIMIENTO	CONTENIDO MÍNIMO
<b>TOPOGRAFÍA</b>	Plano de Planta Modelo Digital CAD	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios previos</li> <li>Levantamiento para el proyecto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamiento</li> <li>Superficie de cobertura</li> <li>Precisión 1:2000 (Otra precisión distinta debe ser justificada)</li> <li>Revisión ocular en terreno del nivel de actualización</li> <li>Revisión general de anchos de fajas a través de medidas simples en terreno.</li> </ul>	<b>Acápites 9.2.1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Líneas de cierre, línea de edificación y Soleras</li> <li>Elementos relevantes (puentes, estructuras, edificaciones, vías férreas, túneles, ríos, canales, etc.)</li> <li>Altimetría solo se requiere si es una condicionante de diseño relevante.</li> </ul>
<b>GEOTECNIA</b>	Caracterización Recomendaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios previos</li> <li>Inspección terreno</li> <li>Opinión experta en obras especiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de prospecciones y ensayos</li> <li>Ubicación de exploraciones existentes</li> <li>Inspección ocular de los antecedentes geotécnicos</li> </ul>	<b>Acápites 9.2.2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caracterización general geológica y geotécnica del sector de proyecto.</li> <li>Identificación de sectores especiales de rocas, humedales, u otra que requiera tratamientos especiales o costosos.</li> <li>Se puede omitir solo en situaciones en que las características del proyecto no requiera de estos estudios.</li> </ul>
<b>HIDROLOGÍA</b>	Caracterización Recomendaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios previos</li> <li>Inspección terreno</li> <li>Consulta organismos</li> <li>Opinión experta en obras especiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamientos</li> <li>Inspección ocular del sistema de escurrimiento superficial, de canalizaciones, de captación y evacuación.</li> <li>Inspección ocular de obras de drenaje especiales</li> </ul>	<b>Acápites 9.2.3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Niveles de precipitación aproximados (lluvia o nieve)</li> <li>Identificación y localización de cauces naturales y obras de drenaje relevantes (canales, colectores, ríos, etc.)</li> <li>Características del sistema de saneamiento superficial</li> <li>Se puede omitir solo en situaciones en que las características del proyecto no requiera de estos estudios.</li> </ul>

Tabla 5.3.8-1 (continuación)  
Levantamiento de información para generación del MSA para Prediseños

MATERIA	PRODUCTO	FUENTE DEL LEVANTAMIENTO	CONTROL DE VALIDACIÓN Y ACTUALIZACIÓN	PROCEDIMIENTO	CONTENIDO MÍNIMO
<b>Geometría</b>	Catastro Fichas / Planos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios previos</li> <li>Inspección terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamiento</li> <li>Inspección ocular de geometría en planta y en alzado</li> </ul>	<b>Acápites 9.1.15</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación de sectores con desalineaciones en planta y sectores con pendiente fuerte.</li> <li>Identificación de estrangulaciones, sectores con falta de conectividad, sectores sin accesibilidad.</li> <li>Identificación de desniveles importantes en las calzadas.</li> <li>Identificación y caracterización general de la geometría en planta y alzado de aceras y veredas.</li> </ul>
<b>Pavimentos</b>	Catastro Fichas / Planos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios previos</li> <li>Inspección visual de terreno</li> <li>Opinión experta en obras especiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamientos</li> <li>Inspección ocular sobre el tipo y estado (B/R/M) de pavimentos por sectores (calzadas, veredas y ciclovías)</li> </ul>	<b>Acápites 9.2.4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación y caracterización general del estado de los pavimentos de calzadas, veredas y ciclovías</li> </ul>
<b>Operación y Seguridad Vial</b>	Catastro Fichas / Planos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios previos</li> <li>Inspección terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamientos</li> <li>Inspección ocular de control, señalización y seguridad vial</li> <li>Inspección ocular de interacción con usuarios no motorizados</li> <li>Inspección ocular de dispositivos y elementos especiales (pistas, bahías, defensas, etc.)</li> </ul>	<b>Acápites 9.2.5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación y representación de los elementos de señalización, demarcación y seguridad vial</li> <li>Caracterización general de la señalización, demarcación y elementos de seguridad vial</li> <li>Identificación de intersecciones semaforizadas</li> <li>Identificación de sectores de operación conflictiva</li> </ul>
<b>Servicios</b>	Catastro Fichas / Planos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consulta a instituciones responsables</li> <li>Estudios previos</li> <li>Inspección terreno</li> <li>Opinión experta en obras especiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamientos y antecedentes de servicios</li> <li>Inspección ocular de antecedentes y elementos existentes</li> </ul>	<b>Acápites 9.2.6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación general de instalaciones de servicios aéreos y subterráneos, a partir de inspecciones visuales y antecedentes</li> <li>Ubicación de instalaciones relevantes que impliquen inversiones mayores al ser afectadas.</li> </ul>
<b>Estructuras</b>	Monografías Fichas / Planos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios previos</li> <li>Inspección terreno</li> <li>Opinión experta en obras especiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamientos</li> <li>Inspección ocular de dimensiones, materialidad y estado de las obras</li> </ul>	<b>Acápites 9.2.8</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ubicación en planta de las estructuras (tablero, estribo y cepas)</li> <li>Caracterización y estado general de las estructuras existentes</li> <li>Dimensiones principales de estructuras (gálibos horizontales y verticales, y otros de interés)</li> </ul>
<b>Expropiaciones</b>	Estudio de precios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios previos</li> <li>Inspección terreno</li> <li>Consulta de valores comerciales</li> <li>Estudios de base de urbanismo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamientos</li> <li>Inspección ocular de predios y construcciones adyacentes a los ejes</li> <li>Inspección en restituciones o fotos aéreas de predios y construcciones</li> </ul>	<b>Acápites 9.2.7</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si el proyecto considera expropiaciones se debe contar con un estudio de precios promedio del valor del suelo y edificación en el área de proyecto</li> <li>Si el proyecto no considera expropiaciones no es necesario</li> </ul>

Tabla 5.3.8-1 (continuación)  
Levantamiento de información para generación del MSA para Prediseños

MATERIA	PRODUCTO	FUENTE DEL LEVANTAMIENTO	CONTROL DE VALIDACIÓN Y ACTUALIZACIÓN	PROCEDIMIENTO	CONTENIDO MÍNIMO
Obras Especiales	Monografías Fichas / Planos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consulta organismos</li> <li>• Estudios previos</li> <li>• Inspección terreno</li> <li>• Opinión experta en obras especiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fecha de levantamientos</li> <li>• Inspección ocular de dimensiones, materialidad y estado de las obras</li> </ul>	Acápites 9.2.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación en planta</li> <li>• Dimensiones principales</li> <li>• Caracterización y estado de las obras</li> <li>• Solo si el proyecto corresponde a la evaluación de una obra particular, se precisará con fichas técnicas y monografías que describan dimensiones, materialidad y estado de conservación.</li> </ul>
Proyectos Programados	Fichas / Planos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consulta a organismos e instituciones responsables</li> <li>• Estudios previos</li> <li>• Estudios de base de urbanismo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión planes y programas</li> </ul>	Acápites 9.3.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación y representación en planta</li> </ul>
Estudio de Precios	Listado de precios de obras o partidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios Previos</li> <li>• Obras recientes</li> <li>• Consulta organismos locales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fecha de antecedentes o materialización de las obras</li> <li>• Listado de obras o partidas</li> </ul>	Acápites 9.2.10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación de los proyectos consultados</li> <li>• Listado de precios obtenidos por obra o partida, indicando valor y unidad.</li> </ul>

## Sección 5.6 Estudios de base urbano-ambientales

La información urbana-ambiental a recopilar dice relación con la población, su entorno y la normativa que los regula. En esta actividad se deberá al menos analizar y reportar las siguientes siete familias o categorías de antecedentes:

- Geomorfología, clima y población
- Aspectos legales, normativos y de planificación territorial
- Urbanización, edificación e infraestructura
- Espacios públicos, áreas verdes y entorno ambiental
- Elementos patrimoniales y de significado
- Actividades, usos y costumbres
- Seguridad

Estas categorías de antecedentes están ordenadas desde los aspectos más generales a los más particulares, en donde los antecedentes particulares serían los más susceptibles a ser

profundizados en las etapas finales del proyecto, al iniciar el diseño definitivo, y los antecedentes generales, a ser levantados al inicio del proyecto.

Para cada una de las categorías, además de los antecedentes existentes o de situación base, se deberá recabar información de proyectos, estudios o planes programados que permita apoyar el pronóstico respecto a la situación y cambios futuros.

La recopilación de antecedentes y los estudios de base, deberá contemplar un sistema de reporte que permita el fácil acceso a la información, privilegiando el uso de fichas, tablas, planos y esquemas, que resuman los antecedentes recopilados y concluyan respecto a los estudios realizados, por sobre los textos descriptivos, informes en extenso o álbumes fotográficos, todos los cuales, de ser necesario, serán reportados en los anexos respectivos del estudio.

Tabla 5.3.8-1  
Tabla resumen estudios de base urbano-ambientales

MATERIA	PRODUCTO	FUENTE DEL LEVANTAMIENTO	CONTROL DE VALIDACIÓN Y ACTUALIZACIÓN	PROCEDIMIENTO	CONTENIDO MÍNIMO
<b>Geomorfología, Clima y Población</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Documento Descriptivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios previos</li> <li>Inspección terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamiento.</li> <li>Inspección ocular.</li> </ul>	Acápites 9.3.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Características generales de la geomorfología, clima y población del área cercana al proyecto.</li> </ul>
<b>Aspectos Legales, Normativos y de Planificación Territorial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano</li> <li>Documento Descriptivo</li> <li>Ficha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ley, Normativa vigente e IPT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de normativa e IPT vigente.</li> </ul>	Acápites 9.3.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Normas de urbanización (ancho de faja y usos permitidos), categoría de vías.</li> <li>Líneas oficiales.</li> </ul>
<b>Urbanización, Edificación e Infraestructura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Documento Descriptivo</li> <li>Ficha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios previos</li> <li>Inspección terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamiento.</li> <li>Inspección ocular de predios y construcciones existentes.</li> </ul>	Acápites 9.3.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Descripción de trama vial, grano y características generales de la edificación (altura, densidad)</li> <li>Identificación y localización de puntos duros relevantes que impliquen condicionantes importantes al diseño.</li> </ul>
<b>Espacios Públicos, Áreas Verdes y Entorno Ambiental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Documento Descriptivo</li> <li>Fichas / Láminas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Normativa vigente</li> <li>Estudios previos</li> <li>Inspección terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamiento.</li> <li>Inspección ocular de áreas verdes, espacios públicos y elementos del paisaje.</li> </ul>	Acápites 9.3.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación de áreas verdes y fajas de paisajismo.</li> </ul>
<b>Elementos Patrimoniales y de Significado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Documento Descriptivo</li> <li>Fichas / Láminas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Normativa Patrimonial</li> <li>Inspección terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamiento.</li> <li>Inspección ocular de elementos patrimoniales y valores urbanísticos.</li> </ul>	Acápites 9.3.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación de hitos urbanos con valor patrimonial a nivel global.</li> </ul>
<b>Actividades, usos y costumbres</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Documento Descriptivo</li> <li>Fichas / Láminas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios previos</li> <li>Inspección terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamiento.</li> <li>Inspección ocular de uso de suelo y construcciones adyacentes a los ejes en estudio.</li> </ul>	Acápites 9.3.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación del uso de suelo de las actividades, usos y costumbres a nivel global o local.</li> </ul>
<b>Seguridad peatonal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Documento Descriptivo</li> <li>Fichas / Láminas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios previos</li> <li>Inspección terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fecha de levantamiento.</li> <li>Inspección ocular de calidad de servicio.</li> </ul>	Acápites 9.3.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Descripción las condiciones de seguridad a nivel local.</li> </ul>

## Sección 5.7 Modelación de la situación actual

### 5.7.1 Construcción del modelo de transporte

Este modelo consiste en una representación topológica y operativa de los elementos principales de la oferta y la demanda de transporte. Su construcción se basa principalmente en las características geométricas de las vías e intersecciones, el esquema operativo, los flujos o matrices de viajes en cada hora representativa de cada período de análisis considerado, las características de los vehículos y los atributos de comportamiento de conductores.

El objetivo de la modelación de la situación actual es disponer de modelos que sean capaces de reproducir las condiciones de operación observadas, así como los conflictos operacionales que generan las necesidades de inversión. De esta forma se obtiene un modelo capaz de estimar las condiciones de operación futuras del sistema bajo la operación de un proyecto y, por lo tanto, capaz también de estimar de manera apropiada los beneficios de las alternativas planteadas.

### 5.7.2 Calibración

Los modelos de transporte requieren de un proceso de calibración, que persigue ajustar determinados parámetros en función de variables observadas en la situación actual, a partir de lo cual se infiere que el modelo estima adecuadamente las condiciones de circulación y los costos de operación observados en el área de referencia, por lo que también lo hará en las situaciones con alternativas de proyecto modeladas en los cortes temporales futuros.

Los enfoques recomendados, procedimientos y tolerancias aceptadas para la calibración de modelos de transporte se presentan en la Sección 10.4.

## Sección 5.8 Diagnóstico

### 5.8.1 Objetivo general

El diagnóstico tiene por objetivo proveer fundamentos técnicos para la formulación de alternativas de diseño. Generalmente, toda área en estudio presenta una cantidad significativa de características susceptibles de ser mejoradas. El problema es precisar cuáles de ellas son más

importantes en cada caso e identificar medidas para obtener los efectos deseados con mayor eficacia, ya que fenómenos observados pueden provenir de muy distintas causas.

En esta actividad se requiere consolidar tres ámbitos complementarios e interrelacionados, que en su conjunto conforman un diagnóstico integral: transporte, infraestructura y urbano-ambiental. Sus alcances específicos se exponen en los acápites siguientes.

## **5.8.2 Diagnóstico de transporte**

### **5.8.2.1 Objetivo**

El diagnóstico de transporte tiene por objeto identificar las causas y caracterizar los conflictos asociados a la operación del sistema de transporte, como son los relacionados con la seguridad vial, la circulación de usuarios no motorizados, la operación del transporte público, del transporte privado y de los vehículos de carga, de manera tal de orientar la definición de alternativas. Este diagnóstico de transporte se basa en la información disponible, los antecedentes de mediciones de tránsito recopilados en los estudios de base de transporte, la inspección de terreno y las simulaciones de la situación actual y proyectada.

El diagnóstico permite identificar los problemas actuales y potenciales que afectan la operación del sistema, a los que se incorporan consideraciones provenientes de ámbitos distintos al de tránsito, como por ejemplo, la seguridad vial. Los conflictos detectados deben ordenarse según su magnitud o relevancia, de modo de establecer el carácter de la intervención requerida para solucionarlos. Este proceso da origen a distintos tipos de proyecto. De esta manera, un proyecto estructural no está concebido para abordar conflictos puntuales existentes en su área de referencia, mientras que un proyecto de gestión sin reasignación de flujos, por otra parte, sí aborda conflictos de impacto acotado.

En la Sección 11.1 del manual se entregan recomendaciones y procedimientos específicos para elaborar el diagnóstico de transporte.

### **5.8.2.2 Alcances**

Para los proyectos estructurales se cuenta con un diseño físico preliminar producto del análisis en el nivel estratégico. En este caso, el diagnóstico debe centrarse en las características de circulación analizadas con un enfoque de red de mayor detalle, en los cortes temporales relevantes.

En los proyectos no estructurales, el análisis se centrará en la identificación de la problemática actual y potencial en el área analizada. El diagnóstico se basa principalmente en la modelación de la situación actual, la situación proyectada y otros antecedentes disponibles.

Independientemente del tipo de proyecto, el diagnóstico de transporte deberá considerar el análisis de los distintos usuarios presentes en el área de referencia. La profundidad del análisis para cada tipo dependerá de que su presencia o los posibles impactos del proyecto en estudio sobre ellos sean significativos. Luego, además del análisis general de la operación vehicular en el área de estudio, se deberán considerar diagnósticos específicos para, entre otros, los siguientes casos:

- Diagnóstico de la operación de transporte público
- Diagnóstico operación vehículos de carga
- Diagnóstico de usuarios no motorizados
- Diagnóstico de la accidentabilidad

### **5.8.2.3 Situación actual proyectada**

Como complemento al proceso de diagnóstico, se realiza una proyección de la situación actual, tanto desde el punto de vista de la oferta como de la demanda de viajes.

Para ello, es necesario incorporar al modelo los cambios en el sistema de transporte que se producirán independientemente de la implementación del proyecto en estudio. Es decir, incorporar a la modelación los proyectos en carpeta al interior del área de estudio, junto a una estimación simplificada de la demanda en el área de estudio para el primer corte temporal.

A este escenario de oferta y demanda se denomina situación actual proyectada, cuya modelación permitirá hacer un pronóstico sobre los problemas de tránsito en el área de estudio y representará el punto de partida para la situación base.

### **5.8.3 Diagnóstico de infraestructura**

El diagnóstico de infraestructura tiene por objeto identificar las condiciones reales de diseño que deben salvar o resolver las soluciones viales urbanas orientadas a lograr los objetivos requeridos por el proyecto, tanto en la situación actual, como en una futura, estimada a través de los estudios de demanda correspondientes, considerando las necesidades de movilidad de usuarios motorizados y no motorizados.

Este diagnóstico se resume en un conjunto de requerimientos y deficiencias de la infraestructura vial existente, en relación al emplazamiento de los ejes viales y estado de: los pavimentos (calzada, separadores, ciclovías, veredas u otras), los sistemas de regulación, el saneamiento, la iluminación y el drenaje, entre otros, sobre la base de los MSA desarrollados.

Para asegurar la completitud del análisis, esta actividad se debe realizar para cada uno de los elementos identificados en el MSA que pueda convertirse en condicionante para el diseño de las eventuales soluciones preliminares, comprendiendo al menos lo siguiente:

- Identificación de estructuras y obras especiales (túneles, autopistas, sistemas ferroviarios, puentes, desniveles, taludes, muros, defensas costeras, defensas fluviales, etc.).
- Disposición y dimensiones de instalaciones de servicios, detectando especialmente las de mayor envergadura (torres de alta tensión, tendidos de transmisión, matrices principales de agua potable, gaseoductos, oleoductos, etc.).
- Identificación del sistema de escurrimiento y saneamiento superficial de la plataforma vial, identificando puntos de evacuación principales (canales, colectores, ríos, mar, etc.). También interesa la ubicación y descripción de puntos de captación y conducción superficial y subterránea. Se deben indicar además zonas de inundación y puntos bajos.
- Identificación de anchos de fajas según normativa vigente comparándola con los anchos actuales de terreno.
- Identificación de restricciones de borde que condicionen la ampliación de las vías o que por sus características funcionales generen una fricción tal que condicionen la operación normal de usuarios motorizados y no motorizados de la vialidad.
- Análisis de factibilidad para generar ampliaciones de capacidad sin recurrir a expropiaciones masivas e identificación de sectores que podrían verse afectados por expropiaciones, destacando las características principales de los predios y construcciones.
- Identificación de instalaciones de sistemas de transporte masivo, como por ejemplo instalaciones ferroviarias, metro, corredores de transporte público, etc.
- Identificación de zonas carentes de conectividad de vías existentes y planificadas, o accesibilidad adecuada a las necesidades del sistema vial afectado.

- Identificación de zonas restrictivas para la velocidad (curvas cerradas, pendientes longitudinales y transversales fuertes, pistas angostas, estrangulamientos, desalineaciones viales, etc.).
- Identificación de las componentes de diseño geométrico que se encuentren fuera de norma, según recomendaciones y normativas de diseño vigentes.
- Descripción del estado actual de los pavimentos, calzadas y veredas, determinando posibles acciones (mejoramiento, repavimentación o pavimento nuevo).
- Elementos de operación, control y dispositivos de seguridad vial (regulación de cruces y operación de ejes), identificando: elementos y estados de semaforizaciones, señales y demarcación, paraderos de buses, etc.
- Análisis de los alcances de proyectos programados en el área de estudio.
- Otras restricciones o condicionantes de infraestructura observados.

En la Sección 11.2 del manual se entregan recomendaciones y procedimientos específicos para elaborar el diagnóstico de infraestructura.

#### **5.8.4 Diagnóstico urbano-ambiental**

El analista deberá revisar la situación existente y proyectada en cuanto a las variables urbano-ambientales, identificar las restricciones relevantes y las oportunidades que presenta el territorio. Es importante que se realice un diagnóstico de la situación actual como también un pronóstico de aquellas variables que pudieran cambiar en el futuro y tener un impacto distinto al previsto, las que deben cubrir al menos los siguientes temas:

- Aspectos de la geomorfología y topografía relevantes, clima y población predominante.
- Aspectos geográficos mayores del área de proyecto que deben ser considerados dentro de las soluciones que se analicen, tales como la presencia de ríos, bordes costeros, quebradas, cerros, entre otros.
- Ancho de faja según normativa, densidades y alturas.
- Tamaño predial y grano, edificación singular existente y futuros desarrollos inmobiliarios. Infraestructura actual y en proyecto.

- Cantidad, tamaño y calidad de espacios públicos y áreas verdes. Elementos del entorno ambiental relevantes, zonas de riesgo y accidentabilidad.
- Elementos patrimoniales y de significado relevantes.
- Usos de suelo predominante por área o tramo, usos de suelo singulares a nivel de manzanas o predios, así como las actividades o eventos relevantes del espacio público.
- Aspectos relevantes de seguridad tales como control visual de los espacios peatonales, niveles de iluminación, conformación de los bordes del espacio peatonal.
- Elementos físicos de paisajismo y urbanismo cuya presencia dificultan la ampliación de la faja actual (Línea de árboles, árboles monumentales, monumentos, parques, plazas, etc.).

Es importante que el trabajo de diagnóstico y pronóstico incorpore la visión de la autoridad local para el área de estudio en particular, y para la ciudad en general.

En la Sección 11.3 se entregan recomendaciones y procedimientos específicos para elaborar el diagnóstico urbano ambiental.

### **5.8.5 Diagnóstico Integral**

El analista debe integrar los diagnósticos de transporte, infraestructura y urbano ambiental, con el fin de considerar la eventual relación entre las distintas causas de los conflictos identificados. Con esto es posible decidir fundadamente sobre la mejor forma de resolverlos, y orientar la formulación de soluciones.

Sobre el MSA se genera un plano de diagnóstico integral que resume e integra el diagnóstico del sistema de transporte (incluyendo las condicionantes, las oportunidades y otra información relevante para el desarrollo de los prediseños), base de referencia digital para el levantamiento de ideas que deben superar las restricciones detectadas y lograr los objetivos perseguidos por el proyecto. Este plano es también la base cartográfica digital sobre la que se desarrollan los prediseños.

## Sección 5.9 Definición de la situación base

### 5.9.1 Definición conceptual

La situación base se define como la situación de referencia a partir de la cual se estiman los beneficios e indicadores de rentabilidad social del proyecto. La proyección de la oferta de transporte, que considera todos los proyectos programados que se ejecutarán en el área de estudio, es el punto de partida para la definición de la situación base. Esta también incluye propuestas sobre el área de proyecto que buscan la reducción de los problemas identificados en el diagnóstico, sobre la base de intervenciones limitadas, cuyo alcance depende del tipo de proyecto. De esta manera, la situación base puede ser considerada como la opción a implementar cuando ninguna de las alternativas de proyecto resulte rentable.

### 5.9.2 Influencia del tipo de proyecto

#### 5.9.2.1 Proyectos estructurales

Estos son sometidos a evaluación en el nivel estratégico. Es por ello que en este nivel de análisis solo se plantea un perfeccionamiento de las alternativas, para luego compararlas entre sí.

#### 5.9.2.2 Proyectos no estructurales

La situación base corresponde a la situación actual incorporando los proyectos programados al corte temporal de modelación considerando la reprogramación de semáforos de acuerdo a los flujos proyectados. Si es un proyecto con reasignación, se pueden también introducir algunas medidas de gestión derivadas del diagnóstico del área de referencia relacionadas con conflictos que no figuran entre los que pretende abordar el proyecto. Estas medidas deben tener un costo sustancialmente inferior al del proyecto, y su incorporación a la situación base evita atribuir a la nueva infraestructura beneficios que no le son propios.

El carácter de las medidas de gestión ha de estar en proporción al del proyecto, en cuanto al ámbito espacial de aplicación y a su costo. En el caso de intervenciones a la situación base que involucren modificaciones a la infraestructura de magnitud menor, no es recomendable incluir rediseños que impliquen expropiaciones o reposición de servicios públicos.

Definidas las medidas a adoptar, la situación base deberá ser especificada al mismo nivel que las alternativas de diseño, en términos físicos y operacionales.

### **5.9.3 Tipos de intervención para la situación base**

#### **5.9.3.1 Semaforización de Intersecciones**

La definición de nuevas intersecciones semaforizadas debe basarse en los criterios de justificación que se encuentran definidos en MTT (2012), en el que se establecen umbrales mínimos de flujo horario vehicular y peatonal. Si estos umbrales se sobrepasan por un determinado número de horas al día, se vuelve exigible una regulación semafórica. Para la justificación de semáforos en cortes temporales futuros, se utilizan los flujos provenientes de las modelaciones de las situaciones base y con proyecto para cada corte temporal.

#### **5.9.3.2 Medidas de gestión y rediseños menores**

En la situación base se pueden incluir medidas de gestión para elevar la utilización de la capacidad disponible. Medidas como encauces y pistas de viraje a la izquierda, si pueden ser materializadas en la faja pública disponible, pueden proponerse para el tratamiento de virajes con oposición y movimientos peatonales. Dentro de un proyecto con reasignación de viajes, caben también modificaciones de sentidos de tránsito o la imposición de restricciones selectivas de acceso a ciertas vías. Medidas sobre la operación de los buses, el estacionamiento o la carga y descarga podrán también ser formuladas, pero solo se les asociarán cambios en parámetros de la circulación si se aportan métodos confiables para estimar sus impactos.

#### **5.9.3.3 Optimización de programaciones**

Se debe proceder también a la optimización de las programaciones de los semáforos en la red, cuyos elementos principales son el diseño de fases, los tiempos de ciclo, repartos y, en los casos en que existe efecto de red, desfases. La optimización de programaciones se debe realizar de acuerdo a la metodología propuesta en MTT (2012).

## **Sección 5.10 Definición conceptual de ideas de solución**

### **5.10.1 Identificación preliminar de soluciones**

En esta actividad se deben identificar y listar todas las ideas que respondan a los objetivos del proyecto y respeten las condicionantes de diseño levantadas en el diagnóstico. Es así como el planteamiento conceptual de las soluciones se genera a partir de la búsqueda del mejoramiento o mitigación de los conflictos y falencias levantados en el diagnóstico integral, de las opiniones e

inquietudes de los usuarios y de los organismos y servicios locales involucrados, así como del diseño previo si existiese.

Las formas alternativas de resolver los conflictos identificados pueden ser muy distintas de un proyecto a otro, por lo que es necesario, en primer lugar, que su concepción esté sujeta a estándares generales derivados de la jerarquía que ocupa en la red cada vía y de los requerimientos emanados de los objetivos del proyecto.

De aquí resultará un número variable de ideas de solución, que deberá guardar cierta proporción con la magnitud del proyecto en cuanto a costo de inversión e impactos. Se recomienda realizar un análisis basado en indicadores muy simples en orden a detectar si alguna de las alternativas planteadas es inviable técnica, económica o normativamente, pudiendo ser descartada de inmediato, previa justificación. Las restantes serán sometidas a una elaboración mayor para pasar a un proceso de selección en que se determina cuáles serán consideradas alternativas preliminares.

### **5.10.2 Selección de ideas para el análisis preliminar de alternativas**

Cada una de las ideas conceptuales identificadas es sometida a una revisión inicial respecto a su factibilidad técnica, económica y normativa. La factibilidad técnica y económica se basa principalmente en los antecedentes generados en el diagnóstico y las visitas a terreno, con énfasis en la identificación de situaciones que involucren obras especiales de costos elevados (túneles, puentes extensos, defensas fluviales, protecciones marítimas, obras de contención, etc.). La factibilidad normativa, por su parte, se analiza especialmente en relación con los instrumentos vigentes, representados principalmente por los planes reguladores y ordenanzas locales que afectan las vías involucradas en las ideas de solución analizadas, considerando las categorías de la vía a intervenir, anchos asignados y uso de suelo permitido.

Como resultado del análisis, se obtiene una lista de ideas ordenadas de menor a mayor riesgo, dejando al final las que presentan problemas de factibilidad técnica o legal, incorporando además para cada idea fortalezas y debilidades considerando aspectos urbanos, territoriales, ambientales u otros de interés. También es recomendable indicar el rol que cumple cada opción respecto a direccionar tendencias de crecimiento urbano, destacando la consistencia respecto a estrategias de desarrollo comunal o regional y propuesta vial del plan regulador. De ser necesario para generar el orden de las ideas, se puede considerar estimar inversiones asociadas en forma simplificada y también se pueden aplicar análisis de multicriterio para su comparación, considerando variables relacionadas con materias de infraestructura, transporte y urbanismo.



## Capítulo 6 Actividades Fase II: Evaluación de alternativas preliminares

### Sección 6.1 Definición del área geográfica de intervención diseños

Definidas las ideas de solución de la fase anterior, es posible definir el área de intervención a considerar. Esta definición detallada debe incorporar los ejes e intersecciones particulares a ser intervenidos, considerando todos los componentes involucrados, reconociendo que las acciones sobre la vialidad urbana repercuten en numerosos aspectos (tránsito de usuarios motorizados y no motorizados, de la infraestructura y del urbanismo y medio ambiente). Vale decir, el área geográfica de intervención debe considerar además zonas fuera de la calzada (aceras, áreas verdes, etc.) que se requiera o convenga intervenir de modo de generar una solución integral, no orientada únicamente a disminuir la distancia recorrida o el tiempo utilizado en el sistema. El área de intervención puede también incluir vialidad adicional a la del eje en estudio (pares viales, ejes transversales, rutas alternativas, etc.).

### Sección 6.2 Revisión de definiciones básicas y complemento de información

Al inicio de la Fase II, es recomendable revisar las definiciones básicas consideradas para el análisis y evaluación del proyecto que se desarrollará. Puede ocurrir que se identifique la necesidad de recopilar información de tránsito, infraestructura, urbanismo o ambiente, complementaria a la recogida en la Fase I del estudio. Esta información complementaria puede ser necesaria para estudiar determinadas situaciones que no fueron identificadas al momento de planificar la campaña de estudios de base, por ejemplo la necesidad de complementar un catastro. Particularmente, en el proceso de identificación de los impactos puede ser necesario, para alguna alternativa o variable en particular, volver a terreno o profundizar en el análisis de modo de precisar los efectos involucrados y las acciones que los gatillan.

La información adicional que deba recogerse, deberá utilizar los métodos descritos en el Capítulo 9 de este manual.

### Sección 6.3 Planteamiento de alternativas

El planteamiento de una alternativa supone la definición de un conjunto de acciones que pueden ser clasificadas en primarias y complementarias. Cada alternativa definida, en lo esencial, debe orientarse a resolver los principales conflictos detectados, proponiendo para ello acciones factibles desde el punto de vista técnico y legal.

Las acciones primarias constituyen la esencia del proyecto en cuanto determinan el carácter y la magnitud de las obras a emprender, y son las que dan origen a alternativas distintas. Por ejemplo, solución a nivel o a desnivel en un nudo, ensanchar a tres o a cuatro pistas una vía, una nueva conexión de doble sentido de tránsito o dos de sentido único. O, en el ámbito de proyectos de gestión, hacer un cambio de sentido de tránsito o imponer sentido reversible, establecer prioridad para ciertos usuarios en el uso de ciertas vías, etc.

Una vez identificadas las acciones primarias, se definen las acciones complementarias de cada alternativa, destinadas al tratamiento de conflictos locales o a mitigar el efecto de alguna acción primaria para preservar un objetivo. Por ejemplo, habilitar una pista o fase especial para un cierto viraje, relocalizar lugares de estacionamiento, crear facilidades para el cruce de los peatones en una intersección, entre otras.

### Sección 6.4 Desarrollo de prediseños y estimación de inversiones para alternativas preliminares

En general, los prediseños tienen como objetivo obtener una estimación preliminar de la factibilidad técnica-económica de las alternativas analizadas, por lo que su precisión debe asegurar la validez de las decisiones que se obtengan como resultado de la evaluación y comparación de alternativas.

Cada alternativa debe contar con un prediseño físico (trazados, pavimentos y saneamiento) y operacional (señalización, demarcación y control), en el área de referencia, cuya definición podría sufrir ajustes en la medida que se vayan visualizando más exigencias en la selección de alternativas y posteriormente durante el desarrollo del anteproyecto. Adicionalmente debe contar con la definición y descripción de las obras complementarias al diseño vial (reposición de servicios, estructuras, expropiaciones, paisajismo, etc.).

En los planos a nivel de prediseño se debe representar la ubicación y forma de los elementos constitutivos de la plataforma vial, con un grado de precisión que garantice su factibilidad física y económica. Además, el diseño operacional debe permitir la adecuada comparación del desempeño de cada alternativa.

Apoyado en los planos de prediseño, descripciones y especificaciones de las obras requeridas, se deben realizar las estimaciones de cantidades de obras e inversiones del proyecto vial y obras complementarias.

En la tabla siguiente se describe, para cada materia involucrada, los productos y contenidos mínimos que debe lograr un prediseño involucrado en el análisis preliminar de alternativas, además se indica en qué I en la que se describen los procedimientos específicos para el desarrollo, representación y cuantificación de estos diseños.

Tabla 5.10.2-1  
Requerimientos para los Contenidos de los Prediseños

MATERIA	PRODUCTO	ESCALA Y PRECISIÓN	PROCEDIMIENTO	CONTENIDO MÍNIMO
<b>Composición Componentes viales urbanas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfiles Tipo</li> <li>• Memoria descriptiva</li> </ul>	No aplica	Sección 12.1 Sección 12.2 Acápite 12.3.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfiles transversales comunes (secciones tipo) y particulares (secciones especiales).</li> <li>• Definición de bordes envolventes principales de calzadas y faja en planta</li> <li>• Indicar de criterios de diseño y normativa.</li> </ul>
<b>Diseño Geométrico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plano geometría en planta</li> <li>• Plano Perfiles Longitudinales</li> <li>• Plano Perfiles transversales</li> <li>• Memoria descriptiva</li> </ul>	1:2000 (Otra precisión inferior debe ser justificada)	Acápite 12.3.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plano geometría en planta de alineaciones geométricas principales (bordes de calzadas, aceras y separadores)</li> <li>• Plano de perfiles longitudinales y transversales normalmente no se requieren a nivel de prediseño, salvo que el proyecto requiera de un tratamiento altimétrico especial (enlaces, atravesos, u otros similares) que involucre movimientos de tierra importantes o estructuras especiales.</li> <li>• Indicar criterios de diseño y normativa.</li> </ul>
<b>Señalización y Seguridad Vial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plano de señalización y seguridad vial</li> <li>• Memoria descriptiva</li> <li>• Inversiones</li> </ul>	1:2000 (Otra precisión inferior debe ser justificada)	Acápite 12.3.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plano en planta con señalización horizontal (pistas, cruces peatonales, regulación de intersecciones y pistas especiales), señalización vertical reglamentaria relevante y la identificación de intersecciones semaforizadas.</li> <li>• Indicación de criterios de diseño y normativa.</li> <li>• Indicación de estimación de cantidades de obras e inversiones</li> </ul>
<b>Pavimentos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura de pavimentos</li> <li>• Memoria descriptiva</li> <li>• Inversiones</li> </ul>	1:2000 (Otra precisión inferior debe ser justificada)	Acápite 12.3.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En proyectos que lo requieran, indicar superficies de pavimentos proyectados (reconstrucción, nuevos y mejoramientos) sobre un plano de planta.</li> <li>• Indicar criterios de diseño y normativa.</li> <li>• Estimación de cantidades de obras e inversiones.</li> </ul>
<b>Saneamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria descriptiva</li> <li>• Inversiones</li> </ul>	1:2000 (Otra precisión inferior debe ser justificada)	Acápite 12.3.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se requieren planos de saneamiento a nivel de prediseño, sin embargo en los proyectos que lo requieran se debe presentar una planta general con los escurrimientos superficiales, puntos de captación, puntos de evacuación y sistemas de colectores en el caso que contemple.</li> <li>• Indicar criterios de diseño y normativa.</li> <li>• Estimación de cantidades de obras e inversiones</li> </ul>

Tabla 5.10.2-1 (Continuación)  
Requerimientos para los Contenidos de los Prediseños

MATERIA	PRODUCTO	ESCALA Y PRECISIÓN	PROCEDIMIENTO	CONTENIDO MÍNIMO
<b>Arquitectura y Paisajismo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria descriptiva</li> <li>• Inversiones</li> </ul>	No aplica	Acápites 12.3.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se requieren planos de arquitectura y paisajismo a nivel de prediseño.</li> <li>• Perfiles con tramos de plantas tipo, incorporando fajas funcionales y elementos de urbanismo y paisajismo. Indicar criterios de diseño y normativa.</li> <li>• Estimación de cantidades de obras e inversiones</li> </ul>
<b>Estructuras</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esquemas con dimensiones relevantes</li> <li>• Memoria descriptiva</li> <li>• Inversiones</li> </ul>	1:2000 Detalles según obra	Acápites 12.3.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación en plano de planta general.</li> <li>• En los caso que la estructura sea relevante para el proyecto, se deben incorporar planos de forma.</li> <li>• Indicar criterios de diseño y normativa.</li> <li>• Estimación de obras e inversiones</li> </ul>
<b>Expropiaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plano de expropiaciones</li> <li>• Memoria descriptiva</li> <li>• Inversiones</li> </ul>	1:2000 (Otra inferior debe ser justificada)	Acápites 12.3.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plano en planta de expropiaciones en sectores en que requieran las alternativas.</li> <li>• Identificación de lotes a expropiar, destacando terreno y construcciones afectadas.</li> <li>• Indicar criterios de diseño y normativa.</li> <li>• Estimación de afecciones e inversiones</li> </ul>
<b>Obras especiales</b> (ferroviarias, túneles, defensas fluviales, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria descriptiva</li> <li>• Inversiones</li> </ul>	1:2000 Detalles según obra	Acápites 12.3.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación y emplazamiento en plano de planta general</li> <li>• Perfiles tipo o planos de forma de las obras especiales que lo requieran para su definición y cuantificación.</li> <li>• Indicar criterios de diseño y normativa.</li> <li>• Estimación de obras e inversiones.</li> </ul>
<b>Desvíos de tránsito</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esquemas generales</li> <li>• Memoria descriptiva</li> <li>• Inversiones</li> </ul>	No aplica	Acápites 12.3.10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar solo en alternativas que requieran desvíos importantes y obras provisorias costosas.</li> <li>• Indicar criterios de diseño y normativa.</li> <li>• Estimación de obras e inversiones.</li> </ul>
<b>Iluminación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria descriptiva</li> <li>• Inversiones</li> </ul>	No aplica	Acápites 12.3.11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se requieren planos de iluminación a nivel de prediseño</li> <li>• Indicar criterios de diseño y normativa.</li> <li>• Estimación de obras e inversiones.</li> </ul>
<b>Semaforización</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria descriptiva</li> <li>• Inversiones</li> </ul>	No aplica	Acápites 12.3.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se requieren planos de semáforos a nivel de prediseño. Solo indicar en planta intersecciones semaforizadas a partir de la demarcación y simbología adecuada.</li> <li>• Indicar criterios de diseño y normativa.</li> <li>• Estimación de obras e inversiones.</li> </ul>
<b>Costos de inversión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria descriptiva</li> <li>• Plano de cubicaciones</li> <li>• Planilla con cantidades de obras e inversiones.</li> </ul>	No aplica	Acápites 12.3.11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Itemizado, memoria y planillas de cálculo por obras o tramos tipo, o también por partidas.</li> <li>• Estimación de precios unitarios representativos del sector de emplazamiento de los proyectos.</li> <li>• Plano digital con respaldo de tramos de vías, obras singulares y otras indicaciones de apoyo a las cubicaciones.</li> </ul>

## Sección 6.5 Modelación de alternativas preliminares

La modelación y simulación de las alternativas busca predecir las condiciones de circulación en el área de influencia del proyecto con el fin de estimar los consumos de recursos, de los que se derivan los beneficios de cada alternativa. Esta actividad requiere la utilización de modelos matemáticos calibrados para la situación actual, que recojan las complejas interacciones que tienen lugar en el área.

Las alternativas preliminares y la situación base deben ser modeladas y simuladas en cada período y corte temporal considerado.

En el Capítulo 10 del manual se entregan criterios y recomendaciones relativas a la modelación y simulación de tránsito.

## Sección 6.6 Evaluación de alternativas preliminares

La evaluación económica de una alternativa corresponde esencialmente a una comparación de los beneficios económicos que ella produce durante su vida útil con los costos de inversión necesarios para su puesta en funcionamiento. Los beneficios económicos corresponden a un diferencial de consumo de recursos durante la vida útil de la alternativa, con relación al de una situación base de referencia. Los costos de inversión de una alternativa, con fines de evaluación, se estiman también como un diferencial con relación al requerido por la misma situación base.

La evaluación de alternativas preliminares tiene como objetivo entregar los indicadores de rentabilidad social de las alternativas preliminares, antecedente que sirve de apoyo al proceso de toma de decisiones, que permite seleccionar la alternativa que será desarrollada en la fase siguiente.

La gran cantidad de objetivos e impactos diferenciados que es posible encontrar en la búsqueda de soluciones a problemas de vialidad urbana, genera normalmente situaciones de conflicto en que determinados objetivos son alcanzados en detrimento de otros. De allí la importancia de desarrollar un exhaustivo proceso de identificación y estimación de impactos que, ponderados adecuadamente, facilitan la toma de decisiones.

## 6.6.1 Indicadores de rentabilidad económica

Para cada alternativa analizada se deben determinar los indicadores económicos de corto y largo plazo. Para ello, se deben realizar las siguientes actividades:

- Estimación de las inversiones de cada alternativa a precios sociales.
- Estimación de beneficios sociales para todo el horizonte de evaluación.
- Estimación del valor residual del proyecto.
- Cálculo de indicadores de rentabilidad social de corto y largo plazo.

En relación con los beneficios sociales del proyecto, para la evaluación de alternativas preliminares se pueden considerar solo los de tiempo y combustible. Del mismo modo, la estimación también puede basarse en un subconjunto de los períodos definidos para el estudio.

La rentabilidad social de la alternativa será obtenida de acuerdo a los métodos expuestos en el Capítulo 13 del manual.

## 6.6.2 Análisis urbano-ambiental de alternativas preliminares

El análisis urbano-ambiental preliminar se realiza sobre la base de los impactos negativos y positivos que se pueden generar sobre el eje y su entorno, producto de las alternativas de proyecto que resulten rentables socialmente, y permite incorporar impactos adicionales que no se reflejan necesariamente en la evaluación social, por lo que resulta del todo necesario su integración para de esa forma mejorar la definición del proyecto desde una perspectiva integral.

En esta etapa de análisis de alternativas preliminares, se deberá poner especial énfasis en los impactos durante la operación y en menor medida durante la construcción del proyecto.

El producto de esta etapa debe ser un reporte del nivel de impacto de cada alternativa y una priorización de cada una de ellas, en relación a esos impactos y su relevancia.

Como parte de esta actividad deben considerarse al menos las siguientes tareas:

- Identificación y caracterización de los impactos.
- Relevancia y valoración de los impactos.

- Comparación y priorización de alternativas.

En el Capítulo 14 del manual se exponen los métodos de análisis urbano-ambiental de las alternativas de proyecto.

## Sección 6.7 Selección de alternativa

El objetivo de esta actividad es definir una alternativa para la fase siguiente, que cumpla con dos condiciones básicas: producir un conjunto de impactos preferible al del resto de alternativas, y ser un proyecto de inversión con alta probabilidad de ser socialmente rentable.

Como resultado de la evaluación de las alternativas preliminares, se obtiene un conjunto de alternativas factibles desde el punto de vista económico, priorizadas en función de su rentabilidad social y de consideraciones cualitativas como el impacto urbano-ambiental de cada una de ellas. Tales antecedentes deben ser sometidos a consideración de los distintos agentes involucrados en el proyecto, analizando las ventajas y desventajas de cada una. La discusión debe incluir apoyos gráficos que permitan a los participantes formarse una idea cabal de las principales características de las alternativas y en especial de las diferencias entre ellas. En este proceso de acuerdo, es importante explicitar los argumentos de aceptación o rechazo de cada alternativa.

También pueden incluirse otras consideraciones cualitativas, entre las que destacan la robustez y la flexibilidad de cada alternativa. La robustez dice relación con la cualidad de una alternativa de producir resultados positivos en todos (o casi todos) los impactos estudiados, para los diversos períodos y categorías de usuarios. La flexibilidad, en cambio, se remite a la capacidad de las obras proyectadas para acoger futuras ampliaciones o modificaciones de diseño sin ver menoscabada su funcionalidad, las que pueden ocurrir ante variaciones de la evolución supuesta de los patrones de uso del suelo o del nivel y composición del tráfico.

Se deberá seleccionar una de las alternativas para ser desarrollada en la fase siguiente a nivel de anteproyecto. No obstante, si no es posible distinguir claramente qué alternativa es la dominante, es posible pasar a la fase siguiente con más alternativas.

## Capítulo 7 Actividades Fase III: Desarrollo y evaluación de la alternativa seleccionada

### Sección 7.1 Definición de la alternativa seleccionada

#### 7.1.1 General

La alternativa seleccionada en la fase anterior debe ser desarrollada a nivel de anteproyecto, cuya precisión del diseño geométrico y operativo alcance idealmente el carácter de definitivo, esperándose que no sufra modificaciones importantes en la etapa de diseño y posterior ejecución. Para ello, los tiempos restantes para el ciclo de vida del proyecto no deben ser muy extensos, y además ni los objetivos del proyecto, ni las condicionantes consideradas, deben sufrir modificaciones importantes.

Con el objeto de precisar y optimizar la solución que se desarrolla a nivel de anteproyecto se emplean procedimientos y aplicaciones que permiten la interacción entre urbanistas, diseñadores y modeladores, logrando una solución equilibrada que respondiendo a los objetivos solicitados, considere las necesidades de movilidad de todos los usuarios (motorizados y no motorizados) del sistema de transporte intervenido, resolviéndolas con el mismo rigor, para así alcanzar niveles de servicios similares para cada uno de ellos, y de esa forma asegurar el beneficio de toda la sociedad.

Los criterios y recomendaciones para la identificación de necesidades operacionales, composición de componentes viales y definición final de la solución se reportan en el Capítulo 12, mientras que en los acápite siguientes se describen de manera general.

#### 7.1.2 Diseño operacional

En función de las necesidades de movilidad de usuarios del espacio público intervenido se debe revisar la solución seleccionada, con el objeto de hacer las precisiones y complementos necesarios, antes de pasar a la fase siguiente de parametrización de las componentes viales urbanas y desarrollo de proyectos complementarios. Esta validación es muy necesaria, especialmente para la determinación y definición de los espacios (fajas, dispositivos y elementos) destinados a usuarios no motorizados.

La precisión del diseño operacional permite especificar las condiciones de uso de la vialidad, es decir, determinar un conjunto de regulaciones, que complementado por un sistema de información (que abraza señales, marcas y otros dispositivos), y por un sistema de fiscalización, permitirá que las condiciones de uso real correspondan a las deseadas.

Complementariamente, del análisis de las modelaciones de tránsito se identifica la necesidad de dispositivos en sectores específicos (pistas de viraje, canalizaciones vehiculares o peatonales, regulación de intersecciones, reductores de velocidad, entre otros.), considerando especialmente condición de flujos de diseño en períodos más cargados o conflictivos. Una herramienta que se recomienda emplear en este análisis es el uso de microsimuladores, observando conflictos e incorporando dispositivos o ajustando el diseño, para su eliminación o mitigación. También se puede usar otras herramientas que reporten indicadores de capacidad o congestión, entre otros.

Se deben analizar además necesidades específicas de sistemas de transporte público o de carga, en los casos que el sistema intervenido los contenga o afecte, a partir de los cuales se deben identificar necesidades de paraderos, circuitos peatonales, radios y anchos de pistas mayores, etc., y por tanto deben ser incorporados en el diseño definitivo.

El alcance del desarrollo del diseño operacional dependerá del nivel de detalle en que se desarrolla el proyecto. En el caso de prediseño y anteproyecto, el alcance debe ser funcional a los requerimientos de evaluación del proyecto, es decir, su definición debe ser tal que permita realizar la modelación y determinar sus beneficios.

En el caso de proyectos que se desarrollen hasta la ingeniería de detalle, como es el caso de proyectos de gestión de tránsito, el diseño operacional es definitivo y su especificación debe ser tal que éste pueda ser directamente implementado en terreno. Su definición debe hacerse en este caso con mayor detalle, verificando en terreno la ubicación de los dispositivos cuando corresponda.

En la Sección 12.6 del manual se exponen criterios y recomendaciones específicas para desarrollar el diseño operacional del proyecto.

### **7.1.3 Composición detallada de componentes viales urbanas**

Considerados los requerimientos de diseño físico operacional específicos de usuarios motorizados y no motorizados, corresponde definir con mayor precisión que en la fase anterior los criterios de composición.

En la práctica, esto se traduce en revisar nuevamente que la solución seleccionada responde a los principios urbanos de composición, así como también a requerimientos generales de vías urbanas. Además se definen los perfiles de cada sector homogéneo incorporando en cada una de las unidades (calzadas, aceras y separadores), las fajas funcionales necesarias (veredas, ciclovías, seguridad, paisajismo, servicio, etc.), como también en sectores especiales que requieren dispositivos específicos (paraderos, estacionamientos, pistas de cambio de velocidad, etc.).

Finalmente se revisan los requerimientos de elementos que se deben incorporar (defensas, señales, tachas, mobiliario urbano, postación, refugios, pasarelas, escaleras, árboles, etc.) en las fajas o dispositivos, con lo que se hacen los ajustes finales para permitir la cabida de estos, de manera que permitan desarrollar al máximo su funcionalidad dentro del proyecto.

#### **7.1.4 Ajustes de la solución obtenida en análisis preliminar**

El producto de la aplicación de las acciones descritas en esta sección corresponde al diseño geométrico operativo optimizado y complementado, que además debe ser sometido a modelación con el objeto de revisar variaciones en los indicadores de rentabilidad preliminares, especialmente cuidando que las inversiones asociadas a los complementos y precisiones no pongan en riesgo la rentabilidad final del proyecto.

Esta actividad se traduce en un proceso interactivo, en que diseñadores y modeladores hacen los ajustes necesarios para obtener la mejor solución vial urbana, manteniendo indicadores de rentabilidad social favorables, según las exigencias del Ministerio de Desarrollo Social, aplicado a todos los proyectos de infraestructura vial urbana de nuestro país.

En casos en que se ponga en duda la condición de rentabilidad social, en una primera instancia no se deben desechar los ajustes incorporados, sino que se debe analizar la posibilidad de materializar el proyecto por etapas, esperando también que los resultados de la modelación definitiva sobre la solución ajustada, aumente los beneficios.

Es necesario destacar que en el proceso de la definición de la solución definitiva, se hacen precisiones de la alternativa seleccionada inicialmente que en ningún caso deben traducirse en transformaciones importantes de esta, que finalmente la pueda convertir en una nueva alternativa, en cuyo caso será necesario reconsiderar las decisiones de la fase anterior.

## Sección 7.2 Estudios de base para el desarrollo de anteproyecto

El Modelo de Situación Actual (MSA) debe ser complementado en la medida que los prediseños merezcan y requieran extensiones, precisiones y profundizaciones para avanzar hacia el nivel de anteproyecto.

Los estudios de base requeridos para esta etapa son mayores que los mínimos definidos para la etapa de prediseño, lo que significa que si en dicha etapa se ha recurrido a las simplificaciones propias de dicho nivel, normalmente se requerirán trabajos adicionales relativos a los levantamientos topográficos y catastrales.

### 7.2.1 Complemento de estudios de base de transporte

Los estudios de transporte complementarios, de usuarios motorizados o no motorizados, son necesarios en situaciones en que se requiere de antecedentes adicionales para: el diseño operacional de intersecciones, el afinamiento del diseño físico operativo a través de la implementación de modelos de tránsito más precisos, casos en que se hayan incorporado nuevas áreas a las consideradas en el análisis preliminar de alternativas, o para otras posibles situaciones que lo ameriten.

El tipo de medición y procedimientos empleados en su levantamiento son los mismos empleados en el análisis preliminar de alternativas y que se presentan en la Sección 5.4 en general, y en la Sección 9.1 en específico.

### 7.2.2 Complemento de estudios de base de infraestructura

En cuanto a la representación del terreno, en sus aspectos cualitativos (calidad de suelos), morfológicos (topografía) y de equipamiento (servicios), la cantidad y tipo de información adicional dependerá, además de las particularidades descritas, del tipo de proyecto y de la extensión del área afectada.

A nivel de anteproyecto, solo se puede usar antecedentes existentes, en los casos que puedan ser validados en terreno y se demuestre su vigencia, y que además en cantidad y precisión cumplan con los requerimientos técnicos a este nivel de desarrollo. Si no existe certeza sobre este punto, siempre es recomendable realizar nuevos estudios de base.

Los estudios de base para anteproyecto se planifican (ubicación, cantidad y tipo) luego de la revisión en terreno de la solución seleccionada en la fase anterior, de tal manera de dimensionar y

planificar los levantamientos en función de las características y necesidades de emplazamiento de las obras del proyecto. No siempre es lo más adecuado usar recetas generales sobre el levantamiento de terreno, atenta con el uso adecuado de recursos disponibles para un estudio, y más aún, son necesarios cuando hay un aporte de información para precisar la factibilidad de alguna obra considerada en el proyecto integral.

En el caso de obras especiales (enlace, túnel, puente, servicio, expropiación, u otra), que no se puedan dimensionar o asimilar a una obra tipo por falta de información de terreno, necesariamente se deben hacer los levantamientos o estudios complementarios, según requerimientos específicos para este nivel, y con ello eliminar posibles incertidumbres.

La etapa de anteproyecto, requiere de un MSA con mayor precisión que el empleado para el desarrollo de prediseños, trabajo que se graduará criteriosamente a la luz de lo hecho y lo revelado durante la etapa de prediseño, limitándolos a lo efectivamente imprescindible para precisar la geometría en planta de las obras viales, y de la elevación cuando ésta, por las características del terreno o de los dispositivos proyectados, sea factor determinante en la validez de los costos usados para la evaluación social. Por lo anterior, en las diversas materias se deben hacer los complementos o nuevos levantamientos, acorde a lo indicado en la tabla siguiente, donde también se presenta la obtención y validación de estudios de base de infraestructura necesarios para el desarrollo de anteproyectos, y a los procedimientos descritos en la Sección 9.2.

Tabla 7.2.2-1:  
Levantamiento de información para estudios de base de infraestructura nivel de Anteproyecto

MATERIA	PRODUCTO	FUENTE DEL LEVANTAMIENTO	CONTROL DE VALIDACIÓN Y ACTUALIZACIÓN	PROCE-DIMIENTO	CONTENIDO MÍNIMO
Topografía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Base Cartográfica</li> <li>• Papel</li> <li>• Digital</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios previos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fecha de levantamiento</li> <li>• Superficie de cobertura</li> <li>• Precisión 1:500. El uso de otra precisión inferior debe ser justificada y soportada por el tipo de proyecto o intervención.</li> <li>• Revisión ocular del nivel de actualización.</li> <li>• Revisión de anchos de fajas a través de medidas con huincha u odómetro por sectores homogéneos.</li> <li>• Revisión ocular de diferencias de nivel importantes y del saneamiento superficial de las vías.</li> <li>• Si se detectan sectores desactualizados, actualizar mediante topografía nueva o plano as-built del sector.</li> <li>• Si el nivel de actualización, completitud y precisión no es suficiente, se debe realizar un levantamiento nuevo.</li> </ul>	Cumplir con acápite 9.2.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cierres, predios (límites de propiedad), edificación (fachada y volado), solera (normal, rebajada, solerilla, etc.), borde pavimento, borde berma, eje calzada, quiebre pavimento, cambio pendiente transversal, taludes, borde zarpa, borde revestimientos, ferrocarril, etc.</li> <li>• Señales verticales, semáforos, controladores, cámaras de semáforos y dispositivos de seguridad, Vallas de protección peatonal y vehicular.</li> <li>• Accesos peatonales y vehiculares.</li> <li>• Árboles, áreas verdes, paraderos (refugios y andenes) quioscos y mobiliario urbano.</li> <li>• Instalaciones de servicios (postación, torres, cámaras, tirantes, obras de arte, sumideros, grifos, etc.).</li> <li>• Estructuras (tablero, muro, vigas, estribos, cepas, juntas, losas de acceso, gálibos, ventilaciones de metro, etc.).</li> <li>• Cauces (fondo, borde y sección), borde de gaviones u otras defensas.</li> <li>• Curvas de nivel.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Levantamiento exclusivo para el proyecto</li> </ul>	No aplica	Acápites 9.2.1	
Geotecnia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización</li> <li>• Recomendaciones de diseño</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios previos</li> <li>• Inspección terreno</li> <li>• Opinión experta en obras especiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fecha de prospecciones y ensayos (certificados)</li> <li>• Ubicación de exploraciones existentes</li> <li>• Inspección ocular por parte de especialista de los antecedentes geotécnicos.</li> <li>• Para estructuras mayores se debe contar exploración especial, obtenida de calicatas profundas, sondajes u otros válidos para la obra involucrada.</li> </ul>	Cumplir con acápite 9.2.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización de los suelos del sector de proyecto</li> <li>• Estratigrafía de suelos de fundación de pavimentos y estructuras</li> <li>• Ensayes de muestras (certificado)</li> <li>• Recomendaciones de diseño para pavimentos, estructuras, cortes, u otras obras especiales involucradas.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exploración exclusiva para el proyecto</li> </ul>	No aplica	Acápites 9.2.2	
Hidrología	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización</li> <li>• Recomendaciones de diseño</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan maestro de aguas lluvias</li> <li>• Estudios previos referenciales</li> <li>• Inspección terreno</li> <li>• Consulta organismos</li> <li>• Opinión experta en obras especiales</li> </ul>	No aplica	Acápites 9.2.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condiciones de diseño del saneamiento superficial y subterráneo (intensidades, caudales, distribución superficial, puntos de captación y evacuación, conducción, descargas, etc.)</li> <li>• Identificación de obras hidráulicas en el área de proyecto (fosos, obras de arte, canales, puentes, sifones, impulsiones, etc.)</li> <li>• Recomendaciones especiales para el diseño hidráulico de obras mayores (puentes, colectores, protecciones, canalizaciones, etc.)</li> </ul>

Tabla 7.2.2-1:  
Levantamiento de información para estudios de base de infraestructura nivel de Anteproyecto

MATERIA	PRODUCTO	FUENTE DEL LEVANTAMIENTO	CONTROL DE VALIDACIÓN Y ACTUALIZACIÓN	PROCE-DIMIENTO	CONTENIDO MÍNIMO
<b>Pavimentos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Catastro</li> <li>• Fichas / Planos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios previos referenciales</li> <li>• Auscultación exclusiva para el proyecto</li> <li>• Opinión experta en obras especiales</li> </ul>	No aplica	Acápites 9.2.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de tipo y estado general de pavimentos superficiales de calzadas, veredas, ciclovías y otros.</li> <li>• Índice de serviciabilidad (p) de pavimentos homogéneos.</li> <li>• Estructuración de pavimentos existentes en casos que se evalúen pavimentos o cuando se tenga información disponible.</li> <li>• Mediciones con instrumentos especializados en proyectos que evalúen mejoramientos de pavimentos.</li> </ul>
<b>Operación y seguridad vial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Catastro</li> <li>• Fichas / Planos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios previos referenciales</li> <li>• Monografía exclusiva para el proyecto</li> <li>• Catastro geométrico operativo</li> <li>• Modelación de situación actual</li> <li>• Consulta organismos</li> </ul>	No aplica	Acápites 9.2.5 Acápites 9.1.13 Acápites 9.1.14 Acápites 9.1.15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación, ubicación, estado y funcionalidad de elementos de regulación: señalización, demarcación, seguridad y semaforización.</li> <li>• Identificación, estado y normalización de los elementos de seguridad.</li> <li>• Identificación, ubicación, estado y funcionalidad de paraderos para el transporte público considerando usuarios motorizados y no motorizados.</li> <li>• Identificación de los tipos de vehículos de transporte público que operan en cada parada.</li> <li>• Identificación y funcionamiento de los dispositivos de estacionamientos existentes, tanto en superficie como subterráneos, formales e informales.</li> <li>• Identificación de sectores con operación conflictiva (congestión, movimientos no resueltos, etc.) o insegura (focos de accidentes, maniobras riesgosas, etc.).</li> <li>• Incorporación de resultados de las mediciones de tránsito como complemento.</li> <li>• Identificación de focos de accidentes.</li> </ul>
<b>Servicios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Catastros</li> <li>• Monografías</li> <li>• Planos</li> <li>• Fichas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consulta a instituciones y organismos responsables</li> <li>• Antecedentes previos</li> <li>• Inspección terreno</li> <li>• Análisis de experto para obras mayores</li> </ul>	No aplica	Acápites 9.2.3 Acápites 9.2.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación, ubicación, materialidad y estado de instalaciones superficiales y aéreas.</li> <li>• Identificación de trazados de ductos subterráneos, especificando profundidad, dimensiones, materialidad, pendiente y estado en los casos que se vean afectadas.</li> <li>• Identificación de instalaciones especiales y de alto costo de reposición.</li> <li>• Identificación de obras relevantes proyectadas.</li> </ul>
<b>Estructuras</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monografías</li> <li>• Planos</li> <li>• Fichas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios previos</li> <li>• Inspección terreno</li> <li>• Consulta organismos</li> <li>• Análisis de experto para obras mayores</li> </ul>	No aplica	Acápites 9.2.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación, dimensiones, materialidad, estado y funcionalidad de las obras.</li> <li>• Dimensiones de gálibos.</li> <li>• Destacar estructuras que impactan o condicionan de mayor medida al proyecto.</li> <li>• Dependiendo de las características del proyecto, incorporar recomendaciones sobre posible intervención (traslado, ampliación, refuerzo, demolición, reconstrucción, etc.)</li> </ul>
<b>Expropiaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio de precios</li> <li>• Listado de antecedentes</li> <li>• Plano / Fichas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antecedentes previos</li> <li>• Inspección terreno</li> <li>• Consulta valores comerciales</li> <li>• Consulta organismos</li> </ul>	No aplica	Acápites 9.2.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización de construcciones y terreno para los predios aledaños al proyecto. Complementar con apoyo fotográfico.</li> <li>• Análisis del valor comercial de terrenos y edificaciones aledaños al proyecto para cada uno de los predios identificados.</li> <li>• Antecedentes generales de las propiedades afectadas.</li> </ul>

Tabla 7.2.2-1:

Levantamiento de información para estudios de base de infraestructura nivel de Anteproyecto

MATERIA	PRODUCTO	FUENTE DEL LEVANTAMIENTO	CONTROL DE VALIDACIÓN Y ACTUALIZACIÓN	PROCE-DIMIENTO	CONTENIDO MÍNIMO
<b>Obras especiales</b> (ferroviarias, túneles, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monografías</li> <li>• Planos</li> <li>• Fichas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consulta organismos</li> <li>• Estudios previos</li> <li>• Inspección terreno</li> <li>• Análisis de experto para obras mayores o especiales</li> </ul>	No aplica	Acápites 9.2.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación en planta del MSA y memoria con dimensiones, materialidad, estado y funcionalidad de las obras.</li> <li>• Dimensiones de gálibos en el caso de estructuras.</li> <li>• Destacar obras que impactan o condicionan de mayor medida al proyecto.</li> <li>• Dependiendo de las características del proyecto, incorporar recomendaciones sobre posible intervención (traslado, ampliación, refuerzo, demolición, reconstrucción, etc.).</li> </ul>
<b>Estudio de precios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Listado de partidas y precios unitarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios Previos</li> <li>• Obras recientes</li> <li>• Consulta organismos e instituciones locales</li> </ul>	No aplica	Acápites 9.2.10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Listado de precios detallado, clasificado por tipo de proyectos y partidas involucradas.</li> <li>• Justificación de precios unitarios de obras similares.</li> </ul>
<b>Proyectos Programados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descripción</li> <li>• Fichas</li> <li>• Planos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios Previos</li> <li>• Obras recientes</li> <li>• Consulta organismos locales</li> </ul>	No aplica	Acápites 9.3.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación y representación en planta del MSA.</li> </ul>

### 7.2.3 Complemento de estudios de base urbano-ambientales

La magnitud y tipo de información adicional relativa a aspectos urbanísticos y ambientales surgirá de una apreciación del grado de intervención -tanto de la plataforma pública como de las actividades de borde- que las obras estudiadas supongan y, en particular, de la existencia de obras con características y extensiones capaces de producir impactos urbanísticos significativos.

Normalmente las precisiones requeridas en esta fase obedecen a necesidades de usuarios no motorizados y de la fricción de borde en las vías intervenidas o desarrolladas, asociada principalmente al uso de suelo.

Complementos asociados a tasaciones y levantamiento de información de predios y construcciones también son necesarios en sectores de proyectos que requieran de expropiaciones.

## Sección 7.3 Desarrollo del anteproyecto de la solución definitiva

Los anteproyectos persiguen acercar lo más posible la estimación de costos de ejecución de las obras prediseñadas, sin llegar a definir las características de estas todas ellas al nivel de proyecto de ingeniería de detalle. Luego, el anteproyecto debe completar la representación de los prediseños abordando todas las componentes de vialidad urbana afectadas o propuestas.

Es recomendable que a nivel de anteproyecto la precisión de la solución geométrica-operativa logre el carácter de ingeniería definitiva, dado que es la instancia en que el diseño vial se puede depurar de manera acabada, a través del uso de aplicaciones computacionales especializadas, a partir del proceso interactivo entre el diseño y la modelación de tránsito (ver Sección 12.5). Posteriormente, en la etapa de ingeniería de detalle, solo se valida la solución geométrica operativa proveniente del anteproyecto, especialmente si se detectan nuevas condiciones de diseño no presentes en el análisis anterior y además se desarrollan los proyectos complementarios hasta el nivel definitivo, además de la incorporación de especificaciones técnicas generales y especiales para la materialización definitiva de las obras.

El producto del anteproyecto serán representaciones planimétricas, especificaciones y memorias de cálculo de las distintas componentes, así como también cubicaciones y presupuesto de inversión, Para lo cual se debe proceder en cada materia involucrada, según se indica en la tabla siguiente y se detalla en el Capítulo 12.

Tabla 7.2.3-1  
Requerimientos para los Contenidos de los Anteproyectos

MATERIA	PRODUCTO	ESCALA Y PRECISIÓN	PROCEDIMIENTO	CONTENIDO MÍNIMO
<b>Diseño vial urbano</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano de planta</li> <li>Secciones tipo</li> <li>Secciones especiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planta 1:1000 o 1:500</li> <li>Secciones 1:200</li> <li>Otra escala puede usarse, mientras permitan apreciar las componentes viales urbanas de manera clara.</li> </ul>	Sección 12.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano director (planta general), que permita apreciar la totalidad del anteproyecto geométrico operacional, agregando fajas funcionales de aceras e identificando obras importantes y expropiaciones.</li> <li>Las secciones deben apoyar el buen entendimiento de la planta, en término de composición y tipo de usuarios del sistema.</li> </ul>
<b>Diseño geométrico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano geometría en planta</li> <li>Plano Perfiles Longitudinales</li> <li>Plano Perfiles transversales</li> <li>Memoria</li> <li>Cubicaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planta 1:500 para diseño geométrico operacional definitivo</li> <li>Planta 1:1000 mínimo absoluto</li> <li>Perfiles longitudinales 1:500 horizontal (h) y 1:50 vertical (v)</li> <li>Perfiles transversales 1:250 (h) y 1:25 (v)</li> <li>La escala debe permitir ver las intervenciones del proyecto.</li> <li>Otra precisión distinta a las indicadas en cada plano debe ser justificada y soportada por el tipo de proyecto o intervención que se realice sobre la plataforma vial.</li> </ul>	Acápites 12.4.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano geometría en planta con ejes de replanteo y bordes coordinados, diferenciando calzadas, aceras, separadores, pistas normales y especializadas, fajas funcionales en aceras (seguridad, paisajismo, peatonales, ajuste, ciclovías, etc.) y dispositivos especiales (paraderos, bahías, accesos, etc.).</li> <li>Dentro del plano geométrico se deben incorporar elementos mayores proyectados como puentes, muros u otros, de manera de precisar su emplazamiento.</li> <li>Perfil longitudinal coincidente con ejes de replanteo.</li> <li>Perfiles transversales cada 20 m y en cambios de sección.</li> <li>Proyectos en que la altimetría no juegue un rol importante, es suficiente con presentar perfiles en tramos regulares y en singularidades importantes.</li> <li>Proyectos con cambio de rasante, deben reportar los movimientos de tierra a nivel de subrasante.</li> <li>Indicar criterios de diseño y normativa.</li> </ul>
<b>Operación y seguridad vial</b>	<p>Señalización y Demarcación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Plano de señalización y demarcación</li> <li>Planos de detalles</li> <li>Memoria descriptiva</li> <li>Cubicaciones</li> <li>Inversiones</li> </ul> <p>Semaforización:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Plano de semáforos</li> <li>Planos de detalles</li> <li>Memoria descriptiva</li> <li>Cubicaciones</li> <li>Inversiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planta: Ídem a diseño geométrico</li> <li>Semaforización 1:250 o 1:200</li> <li>Detalles variables según elementos considerados</li> </ul>	Acápites 12.4.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano en planta con señalización horizontal (pistas, cruces peatonales, prioridades, resaltos, etc.)</li> <li>Señalización vertical reglamentaria e informativa (prioridad, paradas transporte público, etc.)</li> <li>Elementos de seguridad (vallas peatonales, hitos verticales, segregadores, etc.)</li> <li>Identificación de intersecciones semaforizadas (líneas de encauce peatonal, líneas de detención vehicular, lámparas, etc.)</li> <li>Planos de detalle tipo para dispositivos especiales (zonas de parada, resaltos reductores de velocidad, etc.)</li> <li>Planta de semáforo con ubicación de lámparas, cámaras y cableado. Se deben indicar fases y movimientos.</li> <li>Indicar criterios de diseño y normativa.</li> </ul>

Tabla 7.2.3-1  
Requerimientos para los Contenidos de los Anteproyectos

MATERIA	PRODUCTO	ESCALA Y PRECISIÓN	PROCEDIMIENTO	CONTENIDO MÍNIMO
<b>Pavimentos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano de pavimentación</li> <li>Plano de demolición</li> <li>Estructuración proyectada</li> <li>Memoria</li> <li>Cubicaciones</li> <li>Inversiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planta: Ídem a diseño geométrico</li> <li>Secciones tipo: escala adecuada para su interpretación.</li> </ul>	Acápites 12.4.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Superficie de pavimento proyectado diferenciado por solución tipo (veredas, calzadas, ciclovías u otras especiales)</li> <li>Superficie de pavimento existente que se demuele diferenciado por tipo de pavimento (hormigón, asfalto, adoquín, etc.)</li> <li>Superficie de pavimentos con mejoramientos</li> <li>Representación de los espesores de las capas que componen el proyecto de firmes.</li> <li>Indicar criterios de diseño y normativa</li> </ul>
<b>Saneamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano en planta de Saneamiento</li> <li>Perfil longitudinal de colectores</li> <li>Planos de detalle tipo</li> <li>Memoria descriptiva</li> <li>Cubicaciones</li> <li>Inversiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planta 1:1000 o 1:500</li> <li>Otra precisión distinta debe ser justificada</li> </ul>	Acápites 12.4.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Representación de la condición de escurrimiento superficial en planta</li> <li>Representación de colectores, sumideros y zanjas</li> <li>Perfil longitudinal de colectores mayores</li> <li>Detalle de elementos especiales (cámaras, sumideros, etc.)</li> <li>Indicar criterios de diseño y normativa</li> </ul>
<b>Arquitectura y paisajismo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano</li> <li>Detalles</li> <li>Secciones</li> <li>Memoria descriptiva/Fichas/Documento de apoyo</li> <li>Cubicaciones</li> <li>Inversiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escala del plano que permita adecuada interpretación</li> </ul>	Acápites 12.4.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano general destacando elementos de paisajismo y mobiliario urbano, considerando todas las unidades viales y fajas funcionales.</li> <li>Plano de zonas con tratamientos especiales (plazas, parques, nudos, etc.)</li> <li>Tratamiento de retazos en zonas de expropiaciones o de faja irregular.</li> <li>Perfiles tipo y tramos de planta que especifiquen la composición de los perfiles considerados.</li> <li>Indicar criterios de diseño y normativa</li> </ul>
<b>Modificación y reposición de servicios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano en planta</li> <li>Memoria descriptiva</li> <li>Cubicaciones</li> <li>Inversiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planta 1:1000 o 1:500</li> <li>Otra precisión distinta debe ser justificada</li> </ul>	Acápites 12.4.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Representación en planta de postes, tuberías, cámaras, obras de artes, etc. a ser modificadas, indicando a través de simbología adecuada la acción de reposición considerada (desplazamiento, reforzamiento u otra)</li> <li>Indicar criterios de diseño y normativa</li> </ul>
<b>Estructuras</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planos estructurales</li> <li>Detalles y cortes</li> <li>Memoria</li> <li>Cubicaciones</li> <li>Inversiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escala de acuerdo al plano en planta y cortes a escala que permita adecuada interpretación</li> </ul>	Acápites 12.4.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Representación en Planta: tablero, estribos, muros, cepas y losas de acceso.</li> <li>Representación Elevación: vista longitudinal. Cortes de tablero y secciones de vigas</li> <li>Indicar criterios de diseño y normativa</li> </ul>
<b>Expropiaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano de expropiaciones</li> <li>Memoria descriptiva</li> <li>Cubicaciones</li> <li>Inversiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planta 1:500</li> <li>Otra precisión distinta debe ser justificada</li> </ul>	Acápites 12.4.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Representación en plano en planta de lotes a expropiar, distinguiendo terreno y edificación y ubicación de línea oficial.</li> <li>Cuadro resumen de lotes a expropiar (usos, superficies, tipo de edificación, calidad, valores, etc.).</li> <li>Indicar criterios de diseño y normativa</li> </ul>

Tabla 7.2.3-1  
Requerimientos para los Contenidos de los Anteproyectos

MATERIA	PRODUCTO	ESCALA Y PRECISIÓN	PROCEDIMIENTO	CONTENIDO MÍNIMO
<b>Obras especiales</b> (ferroviarias, túneles, defensas fluviales, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano en planta</li> <li>Detalles y cortes</li> <li>Memoria</li> <li>Cubicaciones</li> <li>Inversiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escala de acuerdo al plano en planta y cortes a escala que permita adecuada interpretación.</li> </ul>	Acápites 12.4.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emplazamiento general de las obras en plano de planta.</li> <li>Detalles relevantes que apoyen el entendimiento de la obra y a la estimación de inversiones.</li> <li>Indicar criterios de diseño y normativa.</li> </ul>
<b>Desvíos de tránsito</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esquema de desvíos</li> <li>Memoria descriptiva</li> <li>Cubicaciones</li> <li>Inversiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escala del plano que permita adecuada interpretación.</li> </ul>	Acápites 12.4.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solo si el proyecto de desvíos demanda rerruteos u obras provisionarias importantes, se deben generar al menos esquemas de desvíos.</li> <li>Indicar etapas constructivas y esquemas de desvío para cada una de ellas, estimando las inversiones correspondientes.</li> <li>En esquemas en planta deben presentar vías cerradas y operativas durante el desvío de cada etapa, además de identificar obras requeridas para su implementación.</li> <li>Indicar criterios de diseño y normativa.</li> </ul>
<b>Iluminación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano en planta</li> <li>Memoria descriptiva</li> <li>Cubicaciones</li> <li>Inversiones</li> </ul>	No aplica	Acápites 12.4.10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sólo si el proyecto considera nuevos elementos de iluminación y en caso que se requiera.</li> <li>En general no se requieren planos específicos de iluminación a nivel de anteproyecto, solo definirlos en faja de servicios y cuantificarlos.</li> <li>Indicar criterios de diseño y normativa.</li> </ul>
<b>Costos de inversión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Memoria descriptiva</li> <li>Plano de cubicación</li> <li>Planillas de cálculo</li> </ul>	No aplica	Acápites 12.4.11	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indicar criterios de cubicación.</li> <li>Hacer planillas de cubicaciones por obras desglosadas en todas las partidas que se cuantifican.</li> <li>Hacer cuadro resumen por tramos y obras.</li> </ul>

## Sección 7.4 Costos de inversión de la solución definitiva

### 7.4.1 Introducción

Los costos de inversión consideran fundamentalmente los costos asociados a la construcción de las obras viales urbanas consideradas en el proyecto, incluyendo los costos de los sistemas de operación y control de tránsito, así como los proyectos definitivos de ingeniería y de asesoría y supervisión a la construcción, incluyendo en algunos casos los costos de congestión durante la construcción.

Deben considerarse en los costos de inversión, todas aquellas partidas en que se incurrirá a futuro como consecuencia de la decisión, más aquellas que, a pesar de haber sido financiadas

previamente, tienen un uso alternativo y por lo tanto es posible determinarles un costo de oportunidad. Entre estas últimas se puede mencionar el valor del suelo, aun cuando ya esté disponible para el proyecto por ser de propiedad pública.

Dentro de los costos sociales de inversión no se deben considerar todos los costos en que se haya incurrido, previo a la toma de decisiones de inversión, cuyas partidas no correspondan a un bien transable con un costo de oportunidad social positivo. Por ejemplo, el costo de ingeniería de prediseño y el costo de obras civiles construidas que no tengan uso alternativo.

En los costos de inversión para la evaluación social podrán considerarse los costos de congestión durante la construcción cuando existan diferencias apreciables entre las alternativas que se comparan y la etapa constructiva tenga una duración relevante respecto del horizonte de evaluación. En el caso de estimarse necesaria su incorporación, el costo resultante deberá ser agregado al de inversión en el periodo en que se produzca. Resultará así más evidente la necesidad de compatibilizar adecuadamente las etapas constructivas con el manejo del tránsito durante cada una de ellas.

Los costos de inversión deben determinarse tanto a precios de mercado (privados), con fines de asignación presupuestaria, como a precios sociales con fines de evaluación.

Los precios privados se determinan directamente de las cantidades de obras obtenidas del anteproyecto realizado para cada una de las obras (a nivel de partidas) que configuran la solución definitiva, las que son multiplicadas con los precios unitarios a nivel de mercado estimados en el sector de emplazamiento del proyecto. En 12.4.11 se presentan procedimientos y criterios para la valorización de mercado de las obras.

Las obras que sean identificadas como críticas para un proyecto (normalmente modificaciones de servicios, estructuras, túneles y otras obras mayores), se deben dejar indicadas en los documentos y cuadros de cubicaciones e inversiones, de manera que en la fase de evaluación se hagan los análisis de sensibilidad pertinentes. También se sugiere en estos casos, que se profundice en la revisión de proyectos realizados y materializados cerca del área de proyecto, que contemplen estas obras o partidas, con el objeto de lograr las mejores estimaciones posibles.

Respecto a la valorización social de la inversión, esta se obtiene a partir de la cuantificación privada de cada obra, descomponiendo cada partida requerida en sus recursos básicos, ponderándolas por factores que establece y actualiza el Ministerio de Desarrollo Social, según se detalla en la Sección 13.3.

## Sección 7.5 Modelación y simulación del proyecto definitivo

Esta actividad es equivalente a la descrita para la modelación y simulación de alternativas preliminares indicadas en la Sección 6.5. Se utilizarán para ello las herramientas de modelación construidas y calibradas para la situación actual de acuerdo a lo señalado en el Capítulo 10.

En esta fase el diseño se perfecciona, en ocasiones con el uso de herramientas de simulación microscópica, además de las herramientas utilizadas para la modelación del proyecto con fines de evaluación, destinadas a validar el dimensionamiento de distintos elementos viales considerados, con un análisis en mayor detalle.

## Sección 7.6 Evaluación económica definitiva

Los procedimientos para realizar la evaluación económica definitiva son los mismos expuestos en la Sección 6.6 para la evaluación de alternativas, con la diferencia de que en esta etapa se incorporan elementos adicionales.

- En la estimación de los beneficios anuales se consideran, además del costo por tiempo de los usuarios y de combustible, otros costos de operación (dependientes de la rugosidad del pavimento y las distancias recorridas) y cualquier otro beneficio cuantificable monetariamente a precios sociales.
- En la estimación de beneficios se considera la totalidad de períodos definidos para el análisis del proyecto, los que deben ser expandidos a un año y proyectados al horizonte de evaluación del proyecto.

A continuación, se determinan los indicadores de rentabilidad económica de corto y largo plazo, y se realiza un análisis de sensibilidad de los indicadores obtenidos.

Las metodologías específicas para realizar estas actividades se entregan en el Capítulo 13.

## Sección 7.7 Análisis urbano-ambiental definitivo

Una vez seleccionada la alternativa de proyecto y durante el proceso de diseño definitivo en la Fase III, se deberá revisar el análisis urbano-ambiental e identificar aquellos impactos susceptibles de ser mitigados o controlados.

El analista deberá proponer medidas concretas para mitigar y compensar los impactos negativos producidos por el proyecto y aprovechar los impactos positivos. Estas medidas podrán ser obras a realizar como parte del proyecto o medidas a tomar por parte de la autoridad, las que deberán ser propuestas como parte del diseño.

En el Capítulo 14 se entregan los criterios y recomendaciones para el desarrollo de este análisis.

## Sección 7.8 Reevaluación de proyectos

Se entiende por reevaluación el proceso de actualizar la evaluación de un proyecto, sin la necesidad de realizar completamente el proceso de diseño, modelación y evaluación. Para que este proceso sea válido, el proyecto a reevaluar no debe tener modificaciones relevantes sobre el proyecto original.

Cuando la antigüedad de la evaluación de un proyecto es inferior a 5 años no requiere reevaluación. Si la antigüedad es superior a 5 años e inferior a 10, se puede aplicar una metodología simplificada de reevaluación. Cuando un estudio tiene más de 10 años, deberá realizarse una nueva evaluación aplicando la metodología establecida en el presente manual.

Para que la metodología simplificada sea válida, se requiere que la situación base supuesta en el estudio original no haya cambiado de forma importante. Esto significa que se cumplen las siguientes condiciones:

- Que no se hayan construido nuevos proyectos alternativos al proyecto original.
- Que no se haya construido vialidad relevante en el área de modelación.
- Que no se hayan producido cambios en los usos de suelo en el área de proyecto distintos de los proyectados, que pudieran haber provocado un cambio significativo en la estructura y magnitud de la demanda estimada.

Esto justifica que toda evaluación social cuya data es inferior a 5 años se considera como vigente y puede justificar la etapa de inversión para la cual fue desarrollada.

En la Sección 13.6 del manual se expone la metodología simplificada para reevaluar proyectos. En los casos en que el proyecto no cumpla con los requisitos expuestos en los párrafos anteriores para una reevaluación simplificada, ésta deberá realizarse aplicando a cabalidad la metodología de evaluación de proyectos de vialidad urbana establecida en el presente manual.

# PARTE III

---

## METODOLOGÍAS ESPECÍFICAS

## Capítulo 8 Definiciones básicas

### Sección 8.1 Selección de las herramientas de modelación de tránsito

#### 8.1.1 Tipos de herramientas de modelación

El análisis de tránsito y la cuantificación de los costos operacionales experimentados por los usuarios de la vialidad se determinan mediante el uso de herramientas de modelación de tránsito. Existen tres grupos de herramientas que se diferencian en el nivel de detalle con que se realiza la modelación:

- Modelos macroscópicos: son aquellos en que la operación de tránsito se simula a nivel agregado sobre la base de relaciones analíticas que permiten estimar indicadores de operación promedio para el período modelado.
- Modelos mesoscópicos: estos también se basan en relaciones analíticas como los macroscópicos, pero incorporan además un mayor nivel de detalle que permite representar fenómenos de tránsito particulares, estimando los indicadores de operación a través de la aplicación de funciones que expresan la probabilidad de que un vehículo o peatón se encuentre en cierto tiempo en determinada posición, y a determinada velocidad.
- Modelos microscópicos: se enfocan en la descripción del comportamiento del tránsito a partir de la representación de las entidades discretas individuales (vehículo, peatón, ciclista, etc.) que interactúan unas con otras, basándose en modelos de decisión individual.

#### 8.1.2 Criterios principales de selección

Para la elección de las herramientas de análisis o de modelación de tránsito urbano, se debe tomar en cuenta el contexto analítico y el contexto espacial dentro de los cuales se desarrolla el proyecto.

Ambos aspectos, considerados en forma conjunta condicionan en gran medida el uso de herramientas y el enfoque de modelación que sea adoptado.

En cualquier circunstancia, será labor de los analistas especialistas en el uso de modelos de tránsito recomendar la herramienta más adecuada para enfrentar la modelación.

### 8.1.2.1 Contexto analítico

La precisión mínima requerida en la modelación de tránsito está relacionada con la fase del estudio que se esté desarrollando, distinguiéndose los siguientes casos relevantes:

- En el nivel de perfil y en la Fase I del nivel de prefactibilidad (análisis conceptual), la modelación de tránsito es requerida para determinar las bondades de un proyecto propuesto con precisión de diseño de esquema preliminar o conceptual, o bien, cuando es necesario comparar en forma gruesa distintos tipos de solución, sin requerir mayores detalles respecto de la evolución de los fenómenos de tránsito ni de las características físico – operativas de la vialidad o sus elementos de control de tránsito.

En este caso se puede utilizar herramientas simplificadas u otro tipo de modelos si están disponibles, sin requerir el detalle de los conflictos o fenómenos especiales de tránsito.

- En las Fases II y III del nivel de prefactibilidad, el análisis de tránsito es requerido para la selección de alternativas de proyecto, o bien, para el desarrollo del anteproyecto en los aspectos de diseño físico-operacional de las vías, intersecciones o enlaces.

En este caso las herramientas simplificadas se vuelven menos adecuadas, y se requiere reemplazarlas por modelos de tránsito formales que permitan representar los distintos fenómenos operacionales, de lo que se derivan distintos enfoques de modelación en función de los impactos previstos por la implementación del proyecto.

De esta manera, el uso de las herramientas de modelación puede diferir considerablemente según la fase de estudio que se esté desarrollando.

### 8.1.2.2 Contexto espacial

Es posible distinguir al menos tres niveles de cobertura espacial del área de referencia, que hacen recomendable el uso de distintas herramientas de modelación:

- Sectores aislados: en estos casos normalmente el área de referencia está limitada a solo una intersección, un enlace o un arco.
- Corredor o eje: el área de referencia corresponde a una única vía con sus correspondientes conexiones o intersecciones.
- Red vial: el área de referencia normalmente incluye más de una vía importante, con al menos algunas arterias paralelas y sus principales conexiones e intersecciones. En el extremo, el área de estudio podría abarcar toda una ciudad.

En general, los modelos deben ser capaces de capturar los impactos relevantes al interior del toda el área de referencia. En este sentido, cabe señalar que si se prevé que el alcance espacial es a nivel de red, es probable que se requiera que las herramientas de análisis incorporen procesos de optimización de semáforos y asignación de tránsito.

### 8.1.2.3 Recomendaciones generales

Sobre los dos criterios de selección anteriormente mencionados, es importante considerar que:

- Para grandes extensiones de red, la simulación microscópica puede ser poco recomendable, dada la necesidad de importantes recursos de procesamiento. Sin embargo, cuando se requiere analizar distintas medidas de gestión en áreas amplias de una ciudad (ejemplo: mejoramiento de la gestión en un área céntrica), su uso puede ser el adecuado.
- El uso de una simulación microscópica conjuntamente con la aplicación de herramientas de optimización mesoscópica, es una opción recomendable como apoyo al diseño físico y operacional de los anteproyectos.
- La simulación mesoscópica permite representar el control de señales de tránsito, en especial, la programación de semáforos, como así también las capacidades y los fenómenos de demora, por lo que se recomienda su uso cuando se requiera de un proceso de optimización o sincronización de semáforos en red.
- Cuando existan impactos en la elección de ruta, se recomienda seleccionar una simulación macroscópica o mesoscópica.
- La simulación macroscópica es apropiada para desarrollar los análisis preliminares a nivel de perfil, la cual no necesariamente requiere del uso de un paquete computacional especializado, pudiendo realizarse a partir de relaciones simplificadas basadas en datos empíricos o teóricos, aplicadas en una planilla de cálculo.
- La existencia de altos grados de congestión en el área de referencia, hace menos preciso el análisis macroscópico, puesto que a menudo los resultados dependen fuertemente del grado de convergencia alcanzado. En estos casos, se vuelve atractivo el uso de modelos mesoscópicos combinados con microscópicos, que permiten, por ejemplo, observar la variabilidad presente en el sistema en cada una de las replicaciones.

### 8.1.3 Criterios complementarios de selección

Los criterios establecidos en el punto anterior son orientaciones generales para la selección de las herramientas de modelación de tránsito para el desarrollo de un estudio o para un análisis particular.

Para la selección de la herramienta de modelación, son necesarios algunos criterios de selección complementarios, que permiten reducir el número de opciones. Para estos efectos, el analista deber imponer un mayor número de condiciones sobre las distintas herramientas preseleccionadas, con el fin de que la herramienta seleccionada represente con una mayor certeza y credibilidad los distintos fenómenos de tránsito considerados relevantes por el analista.

Conforme a lo anterior, a continuación se describen los criterios complementarios recomendados para la selección de la herramienta de modelación de tránsito urbano.

#### **8.1.3.1 Capacidad de analizar distintos tipos de usuarios**

La capacidad de incorporar en la modelación distintos tipos de usuarios, con características y criterios de comportamiento diferentes, aumenta la precisión de la modelación de tránsito. Deberá verificarse que, de juzgarlo relevante el analista, se prefiera un modelo que diferencie tipos de usuarios, considerando normalmente los siguientes:

- Automóviles u otros vehículos livianos.
- Vehículos de transporte público (buses, taxibuses y taxis colectivos).
- Camiones u otros vehículos de carga.
- Motocicletas, bicilos u otros vehículos menores.
- Peatones.

Más allá de las características físicas y de consumo de recursos, las principales diferencias entre estos tipos de usuarios se relacionan con su comportamiento en la vialidad y que, en parte, quedan representados mediante la aplicación de distintos factores de equivalencia, distintas velocidades y otros atributos.

En algunos casos será recomendable tratar separadamente a los usuarios según clasificaciones distintas al vehículo que utilizan. Por ejemplo, si se quiere reconocer la diferencia entre valores subjetivos del tiempo, dividiendo a los usuarios en distintas clases. Será relevante en este caso que la herramienta seleccionada permita un tratamiento desagregado.

#### **8.1.3.2 Incorporación detallada de los elementos de infraestructura**

Se considera relevante que los modelos permitan la incorporación detallada de los elementos físicos existentes o proyectados para facilitar la circulación de vehículos, incluyendo las señales en las intersecciones o calles. Siempre será preferible el uso de modelos que permitan introducir un

mayor número de elementos de infraestructura vial, en la medida de que su incorporación conlleve a una mejor representación de los fenómenos de tránsito.

#### **8.1.4 Incorporación de modelos de asignación de viajes**

La incorporación de algoritmos o procedimientos para resolver los problemas de asignación de tránsito a la red, será necesario cuando este fenómeno sea relevante, lo que queda definido explícitamente en la clasificación del tipo de proyecto.

La elección de rutas es un fenómeno que comúnmente se incorpora en el ámbito de la planificación y estudio de proyectos de transporte urbano. Existen diversas formas de representar el proceso de asignación de viajes a una red generada por los distintos fundamentos teóricos y modelos de comportamiento y por las diferencias en la representación matemática del fenómeno. Así, existen formulaciones determinísticas y estocásticas; formulaciones estáticas y dinámicas, etc.

En este sentido, cuando el fenómeno de la asignación de viajes dentro de los impactos esperados de un proyecto sea relevante, será exigible que las herramientas de modelación permitan representar dichos fenómenos, permitiendo también la incorporación de otros tipos de usuarios que no necesariamente estén sujetos a los procesos de elección de rutas (como por ejemplo el transporte público con rutas fijas).

En el ámbito de las redes viales urbanas el algoritmo de asignación recomendado será el determinístico. En caso de redes con niveles bajos de congestión podría considerarse el uso del algoritmo estocástico.

#### **8.1.5 Incorporación de herramientas de optimización y gestión de semáforos**

La modelación generalmente se requiere para las situaciones base y para cada una de las alternativas de proyecto. Se deben considerar herramientas destinadas a optimizar los sistemas de control de tránsito en las intersecciones semaforicas (tiempos del ciclo, repartos y desfases) y pueden abarcar distintas modalidades de regulación semaforica, como por ejemplo: semáforos con tiempos prefijados, semáforos actuados y semiactuados; además de otros sistemas más complejos.

#### **8.1.6 Incorporación de fenómenos particulares**

Otro tipo de potencialidades de las herramientas de modelación podrán ser valoradas en la medida de que las características particulares del proyecto hagan necesaria su incorporación. Entre ellas se pueden señalar:

- Incorporación de herramientas para la gestión de vías. La incorporación de sistemas para el control de tráfico, y sistemas de información destinados a mejorar la fluidez del tráfico en las vías, como por ejemplo la integración de los sistemas ITS, el monitoreo de las vías, señales con mensaje variable, entre otros, hace recomendable el uso de herramientas de microsimulación.
- Incorporación de herramientas para el análisis de eventos especiales. Herramientas capaces de representar la administración de eventos planificados, utilizadas para reducir los impactos sobre la congestión o la seguridad de las vías y de los usuarios.
- Incorporación de herramientas para la administración de cruces ferroviarios. Utilizadas para la administración del tráfico de cruces ferroviarios, donde las necesidades operacionales demandan sistemas avanzados. Incluye capacidades para analizar los sistemas de detección y control, junto con los elementos de seguridad complementarios, como son: los sistemas de barrera y los sistemas de detección y de comunicación con trenes.

#### 8.1.7 Requerimientos de implementación

Mientras que los criterios descritos previamente ayudan a evaluar la idoneidad de cada herramienta conforme a sus potencialidades de uso, este último criterio permite evaluar las facilidades para utilizar dichas herramientas.

Necesidades de recursos financieros, de personal, o relacionados con el conocimiento de los aspectos teóricos de las herramientas, pueden ser importantes en la selección. Es por ello que se han considerado relevantes los siguientes factores para ponderar los esfuerzos de capacitación e implementación de las herramientas:

- Recursos involucrados en la implementación y capacitación de las herramientas. Se deben ponderar no solo los costos monetarios de las licencias, sino también los costos relativos a la capacitación (incluyendo el tiempo), el personal, la infraestructura y los requerimientos de hardware.
- Confiabilidad de las herramientas. Para evaluar la confiabilidad de uso de una herramienta se debe considerar el grado de aceptación o uso que tiene en el análisis de los sistemas de transporte, además de considerar la existencia de documentación técnica y manuales de uso, junto con la existencia de soporte técnico reconocido.
- Requerimientos de información. Se debe considerar cuáles son los datos de entrada de los modelos. Muchas veces, el exceso de información requerida, o bien, la dificultad para obtener cierto tipo de datos relevantes, pueden hacer inviable el uso de una herramienta en particular.

- Integración con otros programas: Las herramientas generalmente tienen funciones de exportación e importación de archivos con otros programas (por ejemplo, de visualización de información), que pueden significar grandes beneficios para la aplicación.
- Existencia de un modelo anterior. El analista puede evaluar la conveniencia de complementar un modelo existente, actualizando de forma exógena los aspectos deficitarios de tal herramienta.

### 8.1.8 Selección de la herramienta

Una ponderación justificada de los criterios de selección presentados en los puntos anteriores, permitirá al analista elegir la herramienta más idónea para el análisis, condicionando la información necesaria para la implementación de modelos, los plazos y los recursos.

Al respecto, cabe señalar que, según sea el tipo de proyecto, es posible encontrar más de una herramienta que sea conveniente para realizar los análisis. Por otra parte, una herramienta específica no siempre podrá atender todas las necesidades del proyecto, en cuyo caso, puede ser necesario contar con herramientas adicionales para realizar un estudio.

## Sección 8.2 Periodización

### 8.2.1 Métodos de periodización

Para la definición de períodos homogéneos desde el punto de vista del costo generalizado de transporte pueden utilizarse como medida los flujos vehiculares o las demoras, definiéndose así dos métodos de periodización diferentes.

Los períodos que se modelan son generalmente las horas punta y una hora fuera de punta característica. No obstante, pueden definirse períodos adicionales si en ellos los flujos presentan características distintivas, que hagan suponer cambios significativos en los beneficios generados por el proyecto o en el diseño.

#### 8.2.1.1 Método de periodización por flujos

El objetivo es la agrupación de las horas punta de la semana tipo que presenten una magnitud y estructura homogénea. El procedimiento consiste en utilizar los flujos de todos los cuartos de hora registrados (en una medición continua) en día laboral, convertidos a  $\text{veq/h}$ , y construir la media móvil horaria sumando los flujos de todas las intersecciones para cada uno de los 64 cuartos de hora medidos. Así, se crea la variable  $FT_j$  y se obtienen flujos totales horarios con la expresión siguiente:

$$FT_i = \frac{1}{4} \sum_{j=i-3}^i FT_j \quad i = 4, 5, \dots, 64 \quad 8.2.1-1$$

Las horas punta representativas corresponden a los mayores  $FT_i$  en la mañana y tarde (y eventualmente el mediodía u otro período punta identificado) y están compuestas por el cuarto de hora  $i$  y los tres previos.

Una vez definidas las horas representativas de cada período punta, se debe analizar la extensión de cada período punta, analizando la incorporación de cuartos de hora previos y posteriores a la hora representativa. Se agregará un cuarto de hora (previo o posterior) si el valor de  $FT_i$  de dicho cuarto multiplicado por 4 es mayor a 0,9 del flujo de la hora representativa del período. Se procede de igual forma para todos los períodos punta. Las horas de la semana que no hayan quedado asignadas a alguno de los períodos punta constituirán las horas del período fuera de punta. Nótese que el período fuera de punta puede agrupar horas con magnitudes de flujo muy diferentes, lo cual se asume válido debido a que, por el menor nivel de congestión de este período, se puede considerar que existe una relación lineal entre el flujo y el costo generalizado para un rango más amplio de flujos.

Finalmente, se elige como hora fuera de punta representativa, aquella que tenga mayor nivel de flujo. Atendiendo también a criterios de conveniencia logística para la realización de las mediciones, lo normal es que se defina la hora fuera de punta representativa a continuación de la punta mañana.

Alternativamente al procedimiento anterior, se puede considerar la definición de la agrupación de horas asociadas a cada período a partir del uso de técnicas tales como el análisis de conglomerados.

Este tipo de procedimiento permite considerar varios perfiles de flujo, por ejemplo, agrupando por intersección, por sentido de tránsito, o por movimientos.

#### 8.2.1.2 Método de periodización por demoras

El método de periodización por demoras es distinto según se trate de proyectos que incluyen o no intersecciones semaforizadas, pues el comportamiento de las demoras varía significativamente en uno u otro caso.

A diferencia del método de periodización por flujos, el método por demoras define la extensión de los períodos y luego se debe decidir cuál es la hora representativa de cada uno de ellos. Dicha hora corresponderá a los 4 cuartos seguidos más cargados de cada uno de los períodos definidos.

## a) Proyecto sin intersecciones semaforizadas

En proyectos sin intersecciones semaforizadas la demora de cada movimiento puede obtenerse independientemente. No obstante, la capacidad de un movimiento puede experimentar fuertes variaciones en el corto plazo debido a cambios en los flujos que tienen prioridad respecto de él.

Cuando estas variaciones están acompañadas de la presencia de colas de importante longitud o permanencia, es esencial estimar las demoras con perfiles de flujos y capacidad cada 15 minutos, en lugar de emplear flujos horarios. Por lo tanto, se sugiere identificar como períodos de modelación a aquellos en los que se observa cola por más de 45 minutos consecutivos en al menos un acceso. Se deben diferenciar los períodos según acceso secundario comprometido y la longitud de la cola observada. El resto de la semana tipo puede considerarse como un solo período, para el cual se promedian adecuadamente los flujos de cada movimiento.

## b) Proyecto con intersecciones semaforizadas

El procedimiento para este tipo de proyectos se encuentra en el Manual de Programación y Modelación de Semáforos.

No es posible garantizar que este método produzca automáticamente una cantidad de períodos acorde con el número de períodos definido para el estudio. Por ello, si una vez aplicado el método se encuentra que el número de períodos resultantes es mayor, se debe considerar una agrupación de algunos de ellos. En este caso, se deberán reagrupar los períodos resultantes según los valores medios de grado de saturación obtenidos para cada uno de ellos, teniendo en cuenta que mientras más alto es el grado de saturación, mayor es la diferencia en el costo frente a variaciones pequeñas del grado de saturación. Es decir, será mejor generalmente agrupar dos períodos con grado de saturación de 75% y 85% que otros con grados de saturación de 90% y 95%.

## 8.2.2 Determinación factores de expansión de beneficios

### 8.2.2.1 Para evaluación de alternativa definitiva

El factor de expansión de los beneficios en la evaluación se obtiene a partir de la información de flujos y su representatividad en relación con la semana tipo. En efecto, el factor de expansión del período  $i$  ( $FE_i$ ) es:

$$FE_i = \frac{NS}{FR_i} \sum_{j \in HA_i} 4 \cdot F_j \quad 8.2.2-1$$

Donde:

$NS$ : Número de semanas al año de la semana tipo correspondiente.

$HA_i$ : Conjunto de cuartos de hora asimilados al período  $i$ .

$F_j$ : Flujo en el cuarto de hora  $j$  que pertenece al período  $i$  [veq/15 min].

$FR_i$ : Flujo de la hora representativa del período  $i$  [veq/h].

Si se considera más de una semana tipo (por ejemplo una por cada temporada), entonces el factor de expansión se debe calcular y aplicar por separado para cada una. Los beneficios expandidos de cada semana tipo se deben sumar para obtener el beneficio anual.

### 8.2.2.2 Para evaluación de alternativas preliminares

Cuando en la evaluación de alternativas preliminares se utiliza una periodización más agregada, utilizando solo un subconjunto de los períodos de modelación definidos en la periodización, cada hora simulada representa a un número mayor de horas de la semana tipo, y en consecuencia tiene un factor de expansión de beneficios más alto que cuando se utilizan más períodos. No obstante lo anterior, no solo deben sumarse los factores de los períodos, sino que deben determinarse nuevamente considerando solo los períodos utilizados en esta etapa. El cálculo de los factores de expansión se realiza con el mismo procedimiento descrito para la evaluación definitiva (ver 8.2.2.1), considerando una nueva asociación de todas las horas de la semana tipo a los períodos que efectivamente se utilicen en esta etapa. Para ello, las horas asociadas en la periodización a los períodos que no se modelen utilicen deben ser asignadas a los otros períodos. Luego, para determinar los factores de expansión en este caso, se deben recalculan los factores de proporcionalidad de cada hora reasignada, pero con respecto al flujo del nuevo período que la representa.

## Sección 8.3 Zonificación

### 8.3.1 Recomendaciones para zonificar

En un modelo de asignación de viajes los desplazamientos se inician y finalizan en las zonas de origen y destino, respectivamente. Esto tiene dos consecuencias: en primer lugar, los viajes cuyo origen y destino están en la misma zona (viajes intrazonales) no aparecen en la red de modelación; y, en segundo lugar, los viajes se asignan a una ruta cuya selección es sensible a la definición de los conectores con la red modelada.

En la medida que el tamaño de una zona es mayor, esos efectos son más importantes. Por esta razón, el interior del área de referencia debe zonificarse con mayor detalle que el exterior.

En el interior del área de referencia debe prestarse especial atención a los núcleos que generan y los que atraen viajes. En el exterior, la conformación de las zonas debe atender a los ejes principales que las comunican con el área de referencia.

Esta zonificación es primaria en el sentido de que permite construir las matrices origen-destino con que será alimentado el modelo de asignación. Es probable que en el proceso de calibración de éste se hagan modificaciones que mejoren la modelación. Por eso no es recomendable partir con una zonificación muy agregada ya que son sencillos los cambios que implican agregaciones de la zonificación original y, en cambio, muy costosos los que implican desagregaciones.

Se pueden establecer las siguientes recomendaciones para el proceso de zonificación:

- Los límites zonales deben ser compatibles con la división administrativa de la ciudad, particularmente con la zonificación censal. Deben considerar también las barreras naturales y artificiales que existan en la ciudad y la definición de cordones o líneas de pantalla de encuestas.
- Las zonas deben ser, idealmente, homogéneas según uso de suelo o composición socioeconómica. Si existe una mezcla de usos se debe identificar el uso de suelo predominante de cada sector y en función de esos usos establecer la zonificación. Zonas con composición socioeconómica muy distinta no deberían ser agregadas aunque sean pequeñas.
- Se debe tener en cuenta que, cuando los límites zonales coinciden con vías relevantes del área de referencia, se dificulta la imputación de los viajes que se inician o terminan en ellas a las zonas de origen o destino.
- El tamaño de la zona debe ser más reducido cuanto más cercana esté a los centros de actividades y al proyecto en estudio, ya que se requiere conocer con mayor detalle la generación y atracción de viajes de esos centros en relación con el entorno del proyecto.
- La zonificación debe ser más desagregada en la medida que se considere una mayor densidad vial en la red de modelación. Así mismo, el nivel de detalle de la zonificación debe ser consistente con el grado de precisión del modelo, y la densidad de información disponible.

Si está disponible una zonificación para el área de referencia definida, por ejemplo, la del modelo estratégico de la ciudad, debe ser desagregada lo suficiente para representar con el detalle necesario el funcionamiento del proyecto. Esta desagregación facilita el proceso de modelación al generar más grados de libertad para reproducir los flujos vehiculares cercanos al proyecto, y permitir capturar de mejor forma impactos que este tendrá en su entorno.

De esta forma, en el exterior del área de referencia es posible utilizar la misma zonificación del estudio estratégico y en el interior una desagregación de ella.

Para desagregar la zonificación se debe tener en cuenta la forma de conexión de las zonas a la red vial, pues de ello depende la capacidad para representar ciertos movimientos en determinadas intersecciones.

### **8.3.2 Criterios de definición de centroides y conectores**

El centroide es una representación puntual agregada de todos los viajes con origen o destino en una zona. El centroide se ubica en el “centro de viajes” de la zona, un punto análogo al centro de masa de un objeto sólido. De ese modo, si la zona es homogénea en relación con los viajes entonces el centroide se ubica en el centro de la zona. En caso contrario, el centroide se ubica más cerca de los sectores de la zona donde se generan o atraen más viajes.

Para que los viajes accedan a la red de transporte es necesario definir arcos conectores entre el centroide y la red vial modelada. No necesariamente los conectores tienen una correspondencia física en la red vial, pues son una representación abstracta de la accesibilidad entre la zona y la vialidad, donde se definen algunos nodos o arcos en el entorno de la zona que se conectan con el centroide mediante arcos con costos fijos de viaje.

Dentro del proceso de calibración del modelo de asignación de viajes, es posible ajustar la localización de los conectores, en función de la disponibilidad de datos de flujos vehiculares y matrices de viaje. La experiencia del analista será fundamental en este proceso.

Una vez definida la zonificación y sus conectores a la red vial, esta no debería ser modificada en la modelación de las distintas alternativas de proyecto, de manera tal de no introducir sesgos en la estimación de los beneficios, dado que ello puede modificar artificialmente las distancias de recorrido y consumos de tiempo de los vehículos sin itinerario fijo.

## Capítulo 9 Estudios de base

### Sección 9.1 Estudios de base de transporte

#### 9.1.1 Medición de flujo vehicular

La medición de flujos vehiculares sirve para establecer los volúmenes, tipos de vehículos y movimientos que ocurren en el área de referencia. Esta información es básica para el proceso de diagnóstico, modelación y evaluación de gran parte de los proyectos de transporte.

La medición de flujos vehiculares puede ser del tipo continua o periódica, para su desarrollo pueden utilizarse medios automáticos o manuales, y pueden registrarse los flujos en sección de vía o movimiento.

##### 9.1.1.1 Tipos de mediciones de flujo vehicular

###### a) Mediciones continuas

Las mediciones continuas se realizan para conocer la evolución de los flujos vehiculares durante todas las horas del día en que la actividad vehicular es relevante para el proceso de evaluación. El proceso consiste en medir los flujos vehiculares durante lapsos prolongados y sin interrupciones, en diferentes días de una semana tipo o representativa del año. El principal uso de la información recogida en las mediciones continuas, es generar la periodización del área de referencia, proceso detallado en la Sección 8.2.

La semana tipo de temporada normal pertenece al período comprendido entre marzo y diciembre, cuando la actividad laboral y escolar es la habitual, sin incluir días feriados o eventos que alteren la demanda en el área de referencia. Si existen diferencias importantes en la estructura y magnitud de la demanda entre la temporada normal y la estival, puede ser necesario definir y medir una semana tipo adicional para la temporada estival, para así capturar de manera más precisa los efectos del proyecto durante el año.

Para establecer la necesidad de considerar más de una semana tipo es necesario que a priori se analice información existente de flujos vehiculares para cuantificar los cambios en la magnitud o estructura en el área donde se localizará el proyecto a evaluar. Esto es importante porque los cambios en los flujos entre temporadas pueden ocurrir de manera distinta en diferentes sectores de una ciudad.

Las mediciones continuas se deben realizar, en la mayor parte de los casos, en los siguientes horarios. Estas horas son referenciales y el analista será el encargado de decidir si extiende el período medido, con el fin de recoger correctamente el nivel de actividad del área de estudio.

Tabla 9.1.1-1  
Horarios para mediciones continuas

Día	Horario
Laboral (martes a jueves)	7:00 a 23:00
Sábado	9:00 a 23:00
Domingo	10:00 a 22:00

Estos horarios pueden ajustarse para tener en cuenta situaciones particulares que se produzcan sistemáticamente antes o después de los límites horarios señalados. Por ejemplo, el inicio de la punta mañana laboral antes de las 7:00.

#### b) Mediciones periódicas

Las mediciones periódicas corresponden a conteos vehiculares que se realizan en los períodos de análisis definidos en la periodización. Normalmente se miden los flujos durante lapsos de una hora dentro de cada período definido, la que se denomina hora representativa de este.

Se recomienda medir los 15 minutos inmediatamente anteriores a la hora definida como representativa, con el fin de evitar la pérdida de calidad asociada a la curva de aprendizaje de los medidores.

Con el fin de preservar la coherencia de la información recopilada, en especial en situaciones de alta congestión, se recomienda que, si la envergadura de las mediciones lo hace posible, se registren simultáneamente los flujos y los tiempos de viaje.

#### 9.1.1.2 Procedimientos de medición

##### a) Medición automática

La medición automática de flujo vehicular se realiza mediante dispositivos que registran el paso de los vehículos sin necesidad o con poca intervención de un operador. Según el tipo de dispositivo utilizado, la medición puede incluir la clasificación por tipo de vehículo o movimiento. Este tipo de medición es adecuada para intersecciones o tramos de vías de alto tráfico, donde una medición manual puede ser compleja, y por lo tanto, estar sujeta a un error considerable. La medición

automática también es útil para mediciones durante lapsos largos, o que deban realizarse sistemáticamente a lo largo del año.

## b) Medición manual

La medición manual se realiza con personal en terreno que observa y registra el paso de los vehículos. El registro debe incluir la clasificación por tipo de vehículo y movimiento.

Las mediciones se deben realizar en las líneas de parada de los accesos para observar con mayor claridad los movimientos que se producen. Los conteos deben agruparse en períodos de 15 minutos.

Para estimar el contingente necesario para desarrollar la medición, es necesario conocer previamente el orden de magnitud de los volúmenes a medir, mediante un pequeño muestreo en las horas más cargadas del día, procurando que un observador no cuente más de 400 vehículos por hora, ni registre más de tres movimientos. En el caso de altos niveles de flujo, el analista debe evaluar la conveniencia de realizar la medición separada por pistas.

Una vez definido el personal requerido para las mediciones, es necesario realizar la capacitación, destinada a disminuir los errores de registro de los datos, la repetición de las mediciones. Se recomienda apoyar esta capacitación con la entrega a los medidores de un manual que debe contener un conjunto claro de instrucciones precisas para que el observador pueda tener contestada cualquier duda sobre su trabajo.

Para el diseño de la actividad en terreno, es necesario contar con al menos un supervisor cada quince observadores. Además de la supervisión, este debe encargarse de elaborar un registro de eventos durante el trabajo en terreno que permita detectar posteriormente las causas de anomalías observadas cuando se procese la información, y eventualmente permita corregir los errores detectados. Es aconsejable la provisión de un 5% de personal extra, para suplir los casos de personal ausente.

### 9.1.1.3 Cantidad y localización de puntos de control

Independientemente del tipo de medición, se recomienda decidir conjuntamente la localización de los puntos de control, la zonificación y la red vial relevante. Esto favorece la robustez del modelo de transporte, pues de esta forma estará compuesto de elementos coherentes entre sí.

#### a) Mediciones continuas

Las mediciones de flujo vehicular para periodizar la demanda en el área de referencia corresponden a mediciones continuas realizadas en un día laboral, un sábado y un domingo de una semana tipo. Los horarios a considerar son los mencionados en la Tabla 9.1.1-1.

La cantidad de puntos a considerar no depende solo de la extensión geográfica del área de estudio, sino que también de la existencia de variabilidad temporal de los flujos. Del mismo modo, se deben considerar puntos que en suma presenten flujos en todas las direcciones cardinales. Considerando lo anterior, se recomienda un mínimo de 3 puntos de control.

#### b) Mediciones en proyectos sin reasignación de viajes

En proyectos que no producen reasignaciones relevantes de los viajes, las mediciones periódicas de flujo vehicular se deben realizar en los períodos identificados en la etapa de periodización. Estas mediciones tienen por objetivo establecer la demanda vehicular en cada intersección del área de referencia considerada en la modelación.

Cuando el proyecto involucra un nudo vial se deben medir todos los movimientos existentes en el área de referencia. En proyectos que intervienen ejes viales se deben medir todos los movimientos en las intersecciones semaforizadas dentro del área de referencia. Para las intersecciones situadas en el límite del área de referencia interesan solamente los flujos en los accesos que entran o salen de ella. Si se estima necesario puede medirse en intersecciones de prioridad, rotondas y puntos relevantes de generación o atracción de viajes. En cualquier caso, es aceptable usar ecuaciones de continuidad de flujo para evitar medir todos los movimientos en cada intersección.

#### c) Mediciones en proyectos con reasignación de viajes

En proyectos que se espera que produzcan reasignaciones de viajes, las mediciones periódicas de flujo vehicular tienen por objetivo construir un modelo de asignación que permita estimar los flujos en el área de referencia una vez que el proyecto esté en funcionamiento.

Para la calibración del modelo de asignación se deben realizar mediciones en una cantidad de intersecciones aproximadamente igual a un cuarto de las intersecciones modeladas dentro del área de referencia. La elección de los puntos de medición debe ser coherente con la zonificación disponible, de manera tal de no generar información de tránsito redundante y que no sea posible de incorporar en la calibración del modelo.

Como regla general, la elección de los puntos de medición se debe realizar buscando maximizar la cantidad de pares origen-destino cuyas rutas incluyen al menos uno de los puntos de medición.

## 9.1.1.4 Recomendaciones generales

Cuando sistemáticamente se observen colas en alguno de los accesos (o pistas de uso exclusivo) es necesario realizar dos mediciones simultáneas: una, aguas arriba del acceso, y otra en la línea de parada. En condiciones de sobre saturación, si la medición se hace solamente en la línea de parada se registrará la capacidad y no la demanda, y al momento de la calibración del modelo se observará una subestimación de las demoras y longitudes de cola en el acceso o movimiento saturado. La medición aguas arriba debe establecer los aportes que llegan al acceso que interesa medir. La medición en la línea de parada sirve para determinar la distribución por tipo de vehículo y movimiento que se debe aplicar sobre la demanda real medida aguas arriba.

Es aceptable, cuando los conteos cubren un área, no medir algunos flujos y obtenerlos por continuidad. Esto, sin embargo, solo debe hacerse para flujos de magnitud considerable y que no realicen virajes significativos en alguna intersección aguas arriba.

## 9.1.2 Medición de flujo de peatones

Los peatones circulan entremezclados según sentido de avance, razón por lo cual los flujos peatonales, medidos en intersecciones o ejes, pueden presentarse sin distinguir sentido.

La medición de flujos peatonales se puede realizar con métodos manuales o automáticos. En el primer caso, el medidor se debe ubicar de modo que pueda observar a los peatones que circulan en cada cruce peatonal y registrar en un formulario apropiado la cantidad de peatones observados. Para mantener la consistencia con los datos vehiculares, es necesario agrupar los datos en intervalos de 15 minutos. En el caso de mediciones manuales de grandes flujos es recomendable especializar a los medidores según el sentido de avance de los peatones. En ciertos casos puede ser necesario establecer una pantalla de varios medidores en la sección de interés de la vía.

En algunas situaciones puede ser necesario que las mediciones de peatones incluyan una clasificación de los usuarios, ya que por ejemplo los niños y ancianos tienen velocidades de desplazamiento diferentes de la de los adultos, así como también las personas con movilidad reducida, lo cual tiene efectos en el diseño operativo de las intersecciones semaforizadas, así como también en el diseño de medidas asociadas a la accesibilidad universal.

### 9.1.2.1 Procedimientos de medición

#### a) Medición en cruces peatonales

En cruces peatonales en intersecciones o tramos de vías, la medición de los flujos peatonales se debe realizar agrupando a los usuarios sin distinguir sentido de avance en cada uno de los cruces peatonales que se observen, estén o no habilitados. Cuando el cruce de la vía se realice de forma dispersa a lo largo de un tramo de vía se deben contabilizar a todos los usuarios y luego asociarlos al correspondiente tramo.

#### b) Medición longitudinal (aceras)

En las aceras la medición se debe realizar también sin distinguir el sentido de avance de las personas. En este caso, la medición se debe llevar a cabo en una sección de la vía pero en forma separada en cada una de las aceras que existan.

Para las condiciones anteriores, en situaciones en que el flujo de peatones requiere de anchos sobre los mínimos establecidos en la reglamentación vigente para su circulación, en cruces de calzadas o en aceras, es necesario que las mediciones además incorporen atributos de densidad y velocidad, de tal manera de poder establecer anchos de fajas con niveles de servicios adecuados.

#### c) Medición en zonas de espera

También, si se detectan zonas de espera de peatones con ocupación de fajas de circulación peatonales o vehiculares o de otros espacios con otro destino (paisajismo, servicio, etc.), será necesario estimar las densidades para hacer el dimensionamientos de los dispositivos con niveles de servicio correspondientes.

### 9.1.2.2 Recomendaciones para determinar la cantidad y localización de puntos de control

Las mediciones de flujos peatonales se deben realizar al menos en puntos del área de referencia que presenten altos niveles de actividad de borde, donde existan conflictos operacionales, de seguridad de tránsito, bajo nivel de servicio en la situación actual o con proyecto, donde el proyecto plantee a priori intervenciones que involucren a los peatones, entre otros.

La cantidad de puntos de control debe ser definida a partir de un análisis preliminar del área de referencia, considerando las características particulares y objetivos del proyecto.

Las mediciones no necesariamente se deben realizar en los mismos períodos que las mediciones vehiculares (la actividad peatonal no necesariamente coincide en horario con la de vehículos motorizados), y considerando las exigencias del Manual de Señalización de Tránsito en relación

con la cantidad de horas de medición necesarias para justificar el uso de determinadas facilidades peatonales.

### **9.1.3 Medición de flujo de bicicletas**

#### **9.1.3.1 Procedimientos de medición**

El procedimiento de medición de flujos de bicicletas es similar al de peatones, salvo que en este caso el sentido de circulación sí importa. Para el registro de los flujos es posible utilizar métodos automáticos o manuales.

Se recomienda que en la medición de bicicletas se distinga entre los usuarios que circulan por la calzada, los que lo hacen por las aceras, parques y los que utilizan las ciclovías, y eventualmente por otras fajas, además de separarlos según su sentido de tránsito. También se recomienda agrupar las mediciones cada 15 minutos.

#### **9.1.3.2 Recomendaciones para determinar la cantidad y localización de puntos de control**

Tal como en el caso de las mediciones peatonales, las de bicicletas se deben realizar en puntos del área de referencia donde exista un alto nivel de actividad, existan conflictos operacionales, de seguridad de tránsito, bajo nivel de servicio en la situación actual o con proyecto, o donde el proyecto plantee a priori intervenciones que involucren a los usuarios de bicicletas.

### **9.1.4 Encuestas origen destino de viajes a usuarios de vehículos privados**

Las encuestas de viajes a usuarios de vehículos privados sirven para obtener información básica sobre los desplazamientos presentes en el área de referencia. Esa información es necesaria para estimar las matrices que requiere el modelo de asignación de viajes.

#### **9.1.4.1 Recomendaciones sobre el procedimiento**

En las encuestas en la vía y en el método de patentes es necesario definir un cordón externo de encuesta en el límite del área de estudio. El cordón externo debe ser complementado con una o más líneas de pantalla orientadas a capturar viajes entre zonas al interior del cordón externo.

Las encuestas de viajes a usuarios de vehículos privados se deben realizar en todos los puntos de entrada y salida del cordón externo definido y en puntos interiores del área. Los puntos interiores deben ser seleccionados a fin de capturar los pares origen destino de mayor demanda, en particular viajes cuyo origen y destino se encuentre al interior del área modelada, ya que ellos no serán captados en las encuestas del cordón externo.

Para lograr un 10% de error al 95% de confianza en la estimación de la cantidad de viajes, los tamaños muestrales de las encuestas en cada sentido de tránsito deben ser los siguientes.

Tabla 9.1.4-1

Tamaño muestral para encuestas origen destino a usuarios de vehículos privados

Flujo observado[veh/h]	Tamaño muestral [%]
900 o más	10,0
700 a 899	12,5
500 a 699	16,6
300 a 499	25,0
200 a 299	33,3
0-199	50,0

En el caso del transporte de carga, el tamaño muestral recomendado para cada punto de control y sentido de tránsito es de un 100%.

El muestreo debe efectuarse aleatoriamente, evitando sesgos en la selección de la muestra. Cuando se debe encuestar en dos o más puntos de control que podrían tener un porcentaje significativo de usuarios encuestados en más de una ocasión, estos podrían rechazar que los encuesten nuevamente. Para evitar el rechazo es recomendable planificar la realización en dichos puntos en días distintos, o bien considerar un método para rescatar la información del vehículo que ya fue encuestado, por ejemplo, registrar la patente de todos los vehículos encuestados.

Las encuestas se deben realizar en un intervalo de una hora, en cada uno de los períodos analizados. Por otro lado, dados los costos involucrados en el despliegue en terreno del personal, es razonable en ciertos casos realizar las encuestas durante un lapso extendido que abarque todos los períodos de interés.

En cada uno de los puntos donde se realicen encuestas de viajes a usuarios de vehículos privados se deben realizar simultáneamente mediciones de flujo vehicular. El propósito de esas mediciones es expandir los resultados de las encuestas en función de la proporción de usuarios encuestados para obtener las matrices origen destino correspondientes.

#### 9.1.4.2 Métodos de encuesta

Los métodos más utilizados para realizar las encuestas a usuarios de vehículos privados son la entrevista al costado de la vía o en intersecciones semaforizadas (métodos de interceptación) y el registro de patentes. Pueden aplicarse también otros métodos que, por ejemplo, hagan uso de dispositivos adosados a los vehículos o aparatos que transporten las personas y cuya posición pueda ser establecida con algún sistema tecnológico.

## a) Encuestas de interceptación en la vía

El método de encuesta de interceptación en la vía requiere detener a los conductores en lugares predefinidos (cordón, línea de pantalla) y formularles un conjunto de preguntas acerca de su viaje. En la entrevista como mínimo se debe preguntar el origen, destino y nivel de ingreso (solo para redes tarifadas). Adicionalmente, por simple inspección se debe registrar en el formulario la tasa de ocupación y tipo del vehículo. La encuesta debe ser corta, precisa, y no estar sujeta a interpretaciones por parte del entrevistador o el entrevistado.

Se recomienda la presencia de Carabineros para detener a los vehículos seleccionados. También es factible realizar la encuesta cuando los vehículos se detienen en un semáforo, aunque en ese caso el diseño de la encuesta debe considerar el poco tiempo disponible para la entrevista.

Es recomendable tomar 15 minutos de encuestas antes del horario que interesa para lograr que los equipos de terreno se familiaricen con el proceso y que los datos se tomen adecuadamente durante todo el horario definido.

Se debe tener especial cuidado en instruir a los supervisores y entrevistadores sobre las medidas de seguridad necesarias al momento de interceptar a los vehículos.

## b) Encuestas a través del registro de patentes

El método de registro de patentes consiste en ubicar observadores en todas las entradas y salidas del cordón de encuesta y líneas de pantalla para que anoten el número de la patente y hora de pasada de cada vehículo. Las rutas seguidas por los vehículos pueden ser deducidas al hacer calzar los números de las patentes en los distintos puntos de control. Esta técnica es apropiada para situaciones caracterizadas por un gran número de orígenes y destinos enlazados por un sistema de calles complejo. Este tipo de encuesta sólo permite saber que el vehículo pasó por los puntos de control, pero no el origen ni destino específico de cada viaje. El horario de las encuestas debe tener en cuenta el tiempo que toma en promedio recorrer la distancia entre las entradas y salidas, a fin de evitar los períodos inútiles en que no habrá coincidencia de patentes.

## c) Encuestas a través de dispositivos tecnológicos

A través de dispositivos tecnológicos que transporten las personas, tales como teléfonos móviles, o que estén adosados a los vehículos, como los dispositivos para el pago electrónico de peajes o estacionamientos, es posible obtener información de los desplazamientos de los vehículos y de las personas. Una ventaja de este método es que permite obtener una gran cantidad de datos durante períodos largos de tiempo. El uso de este método también es útil como complemento de una encuesta en la vía ya que permite capturar un conjunto grande de desplazamientos de los cuales se conocerían detalles para una muestra (la capturada con la encuesta en la vía).

### 9.1.4.3 Recomendaciones para el diseño de formularios

Cada formulario debe considerar el registro del punto de control, fecha de la encuesta, sentido de tránsito del flujo encuestado (o movimiento en caso pertinente), nombre del encuestador y supervisor. Para registrar el origen y destino es recomendable solicitar la intersección importante más cercana e indicar la comuna correspondiente en cada caso.

Cuando sea necesario conocer el nivel de ingreso, se recomienda elaborar tarjetas con rangos identificados a través de códigos, lo que reduce el porcentaje de rechazo respecto de la consulta directa. El número de rangos deberá ser el mínimo suficiente para cumplir los objetivos del estudio.

### 9.1.5 Encuesta a usuarios de transporte público

Las encuestas a usuarios de transporte público, en el contexto de los proyectos no estructurales, son útiles para la construcción de matrices de acceso y egreso al transporte público dentro del área de modelación, orientadas a determinar el impacto puntual de la eventual modificación del trazado o localización de paraderos de ciertos recorridos, sobre las variables de acceso percibidas por los usuarios. Este tipo de información puede ser obtenida a través de encuestas en sitios de parada.

#### 9.1.5.1 Recomendaciones para determinar los tamaños muestrales

Los sitios de parada incluyen terminales operativos, paraderos (formales e informales), estaciones de intercambio, y, en general, cualquier lugar donde se concentren usuarios que suban o bajen de buses o taxis colectivos.

La muestra de usuarios debe corresponder a una proporción de los usuarios de transporte público observados en cada parada. Los tamaños muestrales recomendados para los usuarios que bajan o suben son los que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 9.1.5-1  
Tamaño muestral para encuestas origen destino en sitios de parada

Flujo observado [personas/h]	Tamaño muestral [%] Error = 10%	Tamaño muestral [%] Error = 5%
900 o más	10,0	30,0
700 a 899	12,5	35,0
500 a 699	16,6	45,0
300 a 499	25,0	55,0
200 a 299	33,3	65,0
0-199	50,0	80,0

## 9.1.5.2 Procedimiento para encuestar

El procedimiento para encuestar consiste en entrevistar a los usuarios cuando bajan de los vehículos o mientras esperan en los sitios seleccionados. La entrevista debe ser breve, precisa y sin aspectos interpretables.

Para completar la entrevista el encuestador puede caminar con los pasajeros que bajen o aprovechar los horarios donde se generan colas de usuarios esperando subir, momento en que debería existir mayor disposición a contestar las preguntas.

## 9.1.5.3 Recomendaciones para el diseño de formularios

Cada formulario debe considerar el registro de la fecha de la encuesta, punto de control, nombre del encuestador y supervisor. Cada registro debe considerar como mínimo las siguientes preguntas: hora, servicio, origen y destino del pasajero, (la intersección más cercana).

Si se desea incorporar preguntas adicionales al formulario, que busquen recopilar información de otra naturaleza sobre los usuarios y que sean sensibles (normalmente asociados a una segmentación socioeconómica), se recomienda elaborar tarjetas con rangos de magnitud o indicadores cualitativos, identificados a través de códigos, lo que reduce el porcentaje de rechazo a dicha pregunta.

## 9.1.6 Medición de tasas de ocupación por tipo de vehículo

La tasa de ocupación de los vehículos es una variable clave para la evaluación social de un proyecto de transporte. Es necesario entonces destinar recursos suficientes para obtener valores confiables y representativos de la ocupación en los ejes relevantes dentro del área de referencia.

### 9.1.6.1 Procedimiento de medición para vehículos privados

El proceso de medición de la tasa de ocupación de automóviles, camiones u otros vehículos de similar capacidad de transporte de personas es sencillo, en la medida que desde el exterior es posible contar directamente la cantidad de personas a bordo de ellos.

La tasa de ocupación media es el promedio de todas las cifras obtenidas en cada tipo de vehículo. En este caso, basta con ubicar al observador en un lugar donde se produzcan detenciones para observar más fácilmente a los pasajeros. Cuando ello no es posible es recomendable que los observadores se ubiquen a una cierta distancia de los flujos a fin de poder registrarlos con mayor precisión.

### 9.1.6.2 Procedimiento de medición para transporte público

Se recomienda medir tasas de ocupación por tramo y sentido en arcos de la red en los que el flujo de transporte público es relevante y el proyecto afecte sus variables de servicio. En estos casos, la mayor precisión que se obtiene a través del uso de una tasa de ocupación por arco o por tramo para los ejes considerados, redundará en una mejor estimación de los beneficios del proyecto. Para el resto de los arcos de la red de modelación bastará con la utilización de una tasa de ocupación promedio por tipo de vehículo.

En taxis colectivos el proceso de medición de tasa de ocupación es similar al de transporte privado, donde es posible obtener una buena medida a través de la inspección visual por un observador externo en puntos específicos.

Como los buses tienen una capacidad bastante mayor a la de los vehículos livianos, existe una mayor variabilidad en la carga de los vehículos y una mayor imprecisión en la medición de la tasa de ocupación a través de un observador externo al vehículo, por lo que si el analista estima conveniente la estimación de perfiles de carga, por ejemplo, si se desea estudiar un cambio operacional local de un servicio de transporte público, este debe ser construido mediante mediciones de subidas y bajadas, en caso contrario, bastará con la medición mediante inspección visual.

#### a) Medición de tasa de ocupación en buses mediante inspección visual

El observador debe registrar la situación de ocupación de los vehículos de interés de acuerdo con una categorización previamente definida. Se recomienda utilizar las siguientes cinco categorías, para cada tipo de bus presente en el área de estudio:

- A: el vehículo completamente ocupado.
- B: más de la mitad del pasillo ocupado con pasajeros de pie.
- C: menos de la mitad del pasillo ocupado con pasajeros de pie.
- D: más de la mitad de los asientos ocupados.
- E: menos de la mitad de los asientos ocupados.

Cuando se mida la tasa de ocupación en vehículos de transporte público con capacidades relativamente pequeñas, tales como minibuses, es recomendable disminuir el número de categorías de ocupación pues algunos no admiten pasajeros de pie.

En la elección de los lugares de observación deben preferirse puntos donde se produzca la detención de los vehículos para facilitar la apreciación visual de la ocupación.

La ocupación promedio observada debe traducirse en pasajeros por vehículo mediante el uso de categorías establecidas previamente, a partir de mediciones a bordo de una muestra de vehículos.

Sin perjuicio de lo anterior, se podrán utilizar los siguientes valores:

Tabla 9.1.6-1  
Ocupación promedio referencial según tipo de bus y categoría (pasajeros/veh)

Categorización	Taxi bus (cap. 50 pers. aprox.)	Bus (cap. 80 pers. aprox.)	Bus (cap. 90 pers. aprox.)	Bus Articulado (cap. 160 pers. aprox.)
A	51	68	89	139
B	47	50	62	83
C	31	42	42	49
D	21	24	24	31
E	5	8	8	10

Fuente: SECTRA (2013b)

La tasa de ocupación media por tipo de vehículo se debe estimar como el promedio ponderado de los niveles de ocupación por categoría.

#### b) Medición de perfil de carga por ejes en buses

Este método consiste en disponer medidores a bordo de los vehículos, de modo que registren la cantidad de personas que sube y baja en cada detención, para de tal forma conocer el perfil de carga de los buses en cada tramo, a lo largo de cada eje analizado dentro del área de referencia.

Previamente se deben definir los tramos de medición en función de los lugares de parada y registrar en cada uno de ellos la cantidad de personas que subieron y bajaron del vehículo.

Cuando el recorrido del servicio medido exceda el tramo de medición se deberá registrar el número total de ocupantes al inicio de la medición.

La información debe ser recogida para cada período de análisis, considerando una muestra representativa de los servicios y dentro de cada uno una proporción de los buses.

#### 9.1.6.3 Recomendaciones para determinar los tamaños muestrales

##### a) Inspección visual

En el caso de vehículos de transporte público, se debe medir en cada hora la ocupación de un mínimo de 15 vehículos por categoría para cada acceso, si es un nudo, o sentido de cada eje, si se trata de ejes o redes.

Para los vehículos livianos se debe tomar una muestra en cada acceso o sentido de eje, análogamente al caso del transporte público. La medición se debe realizar durante un lapso de 15 a 30 minutos en cada hora. Si se analizan ejes de gran extensión o existen singularidades donde la tasa de ocupación varía se debe considerar más de un punto de medición.

Dado que la tasa de ocupación de vehículos livianos posee poca varianza, el tamaño muestral mínimo requerido es de 4 vehículos. En la práctica siempre va a ser posible lograr tamaños de muestra mayores, no obstante se debe cuidar el no incurrir en algún tipo de sesgo de muestras, para lo cual se debe considerar una regla de muestreo aleatorio, por ejemplo, anotar la ocupación de uno cada  $n$  vehículos.

#### b) Perfil de carga

En el caso del perfil de carga se debe medir en cada hora representativa un mínimo de 15 vehículos por categoría y sentido.

Para evitar el sesgo muestral en la medición se requiere definir previamente una regla de selección de los vehículos del servicio a abordar, normalmente uno de cada dos. Algunas recomendaciones son las siguientes:

- El muestreo se debe orientar a determinar un perfil de carga promedio para el eje de proyecto, por lo que no es necesario incluir todos los buses del eje en estudio.
- Para la selección de los vehículos se debe tener en cuenta fenómenos propios de la operación del transporte público, tales como la pérdida de regularidad en el intervalo de pasada de los vehículos (*bunching*), lo que puede provocar que dos vehículos del mismo servicio que pasan consecutivamente posean perfiles de carga marcadamente diferentes, lo que implica la necesidad de medir en ambos vehículos.
- En el caso de requerir perfiles de carga para algún servicio en particular, debe usarse la misma regla de selección de vehículos.

### 9.1.7 Medición de tiempo de viaje

#### 9.1.7.1 Recomendaciones para determinar los tamaños muestrales

En el caso del transporte privado, para cada arco y sentido de tránsito de los circuitos definidos en la red vial modelada se deben medir tiempos de viaje según las siguientes especificaciones:

- Las mediciones de tiempo de viaje se deben realizar en los ejes más importantes del área de referencia, es decir, el eje de proyecto, sus principales alternativas, así como los principales ejes de acceso al proyecto, de manera que se logre una muestra representativa de las distintas condiciones de circulación existentes en cada período de análisis.
- En el caso de los buses y taxis colectivos se debe medir el tiempo de viaje de operación en cada uno de los arcos viales que conforman los ejes donde operan esos tipos de vehículos. En determinados casos puede ser necesario analizar por separado la operación en el área céntrica de la operación en las zonas periféricas.

Las mediciones deben ser repetidas al menos cinco veces en cada uno de los períodos considerados y luego se deben promediar los tiempos registrados, incluyendo solo las observaciones validadas.

En situaciones de alta congestión, se recomienda tener un número mayor de observaciones. Es deseable también que estas mediciones sean simultáneas con las mediciones de flujo vehicular, especialmente cuando exista alta congestión.

#### **9.1.7.2 Método de persecución de vehículos**

En el método de persecución la idea es seguir a un vehículo seleccionado al azar, lo más de cerca posible en todas sus maniobras, desde un punto de inicio hasta uno final previamente definidos. En ambos lugares se debe registrar el tiempo de pasada. Como no se conoce el destino del vehículo este método es más útil cuando la mayor parte del tráfico de interés circula por un eje.

El uso de dispositivos de posicionamiento global (GPS) en la persecución de vehículos permite realizar el seguimiento durante trayectos extensos y luego a través del procesamiento de los datos recopilados por el dispositivo se pueden obtener los tiempos de viaje de un conjunto de tramos de vía.

#### **9.1.7.3 Método del vehículo flotante**

El método del vehículo flotante consiste en recorrer las vías utilizando un vehículo sonda. El objetivo es tratar que el vehículo sonda no adelante ni sea adelantado por otros vehículos (o circule siendo adelantado por tantos vehículos como los que se adelanten).

Un acompañante del conductor debe registrar el tiempo de pasada por una serie de hitos previamente definidos, tales como las líneas de parada de las intersecciones. Es un método sencillo, particularmente apropiado para la medición de tiempos de viaje en automóvil.

El método anterior puede modificarse si se dispone de un dispositivo para registrar tiempo y posición acoplado y calibrado para el vehículo sonda (por ejemplo, GPS). En ese caso se deben realizar los mismos recorridos que en el método normal, pero registrando no sólo las líneas de parada (previamente identificadas), sino que también las detenciones adicionales por interferencia en paraderos y detenciones por cualquier otra causa.

Como el instrumento de registro registra no sólo los tiempos sino que también la posición, es posible conseguir una visión mucho más completa de las velocidades desarrolladas a lo largo de los tramos y de la influencia de las detenciones parciales.

#### **9.1.7.4 Método de las patentes**

El método de las patentes para medir tiempos de viaje considera el registro de la placa patente y el instante de pasada de los vehículos. Luego, mediante el proceso de pareo de patentes se obtienen los tiempos de viaje por diferencia, verificando que sus magnitudes sean razonables.

Se debe tener en cuenta la definición de los puntos de control de patentes de manera que sea posible estimar tiempos de viaje por tramos de interés, considerando que no se conoce la ruta seguida por los vehículos registrados.

#### **9.1.7.5 Método de medición a bordo**

Este método está orientado a la medición de los tiempos de viaje en transporte público, y consiste en ubicar a un medidor con un dispositivo de posicionamiento global dentro del vehículo.

### **9.1.8 Medición de longitud de colas**

#### **9.1.8.1 Procedimientos de medición para intersecciones semaforizadas**

En intersecciones semaforizadas la formación y disipación de colas siguen un proceso que se repite ciclo a ciclo. Esa característica determina la existencia de dos longitudes de cola que son de interés como indicadores del nivel de servicio y como variables para establecer el grado de ajuste del modelo en la etapa de calibración, que corresponden a la cola excedente y la cola máxima. Las colas se miden por pista en unidades de vehículos, especificando su composición.

El procedimiento para medir cada una se describe a continuación.

## a) Longitud de cola excedente

La longitud de la cola excedente es el número de vehículos que existe en una pista al momento de comenzar el rojo efectivo asociado a dicha pista, y que se encontraban en cola al inicio del verde efectivo anterior.

Para medir esta longitud es necesario establecer previamente el largo aproximado de la cola excedente. Asumida una cierta cantidad de vehículos, el observador se ubica en ese punto, y al comenzar el rojo efectivo del movimiento cuya cola se está midiendo, procede a contar la cantidad de vehículos en la cola. Se recomienda considerar al menos treinta observaciones, las que se deben promediar para obtener el valor representativo.

Es recomendable realizar las observaciones con más de una persona simultáneamente, ya que esto contribuye a eliminar posibles fuentes de error sistemático. Como se debe observar cual es el último vehículo que se sumó a la cola (lo que puede suceder a una distancia significativa de la línea de detención) y que no se logró descargar (lo cual puede verificarse cerca de la línea de detención, se requiere de 2 personas comunicadas: la primera indica cuál es el último vehículo que se sumó a la cola y la otra determina si logra descargarse en ese período de verde y, en caso contrario, establece cuántos vehículos quedaron en cola delante del último que se sumó a ella hasta la línea de detención.

También es posible realizar la medición utilizando grabaciones de video, si el registro visual permite apreciar las correspondientes lámparas del semáforo y la cantidad de vehículos en cola.

## b) Longitud de cola máxima

La longitud de la cola máxima es el número de vehículos que existe en una pista al momento en que empieza el verde efectivo asociado a dicha pista. Al igual que en el caso anterior, el último vehículo que se suma a la cola es aquel que se detuvo completamente una vez iniciada la descarga de la cola.

El método para medir las colas máximas es análogo al de colas excedentes pero se debe tener más precauciones porque las colas son obviamente más grandes. Las recomendaciones de eliminar fuentes de error sistemáticos a través de observadores entrenados, es también de mayor importancia que en el caso anterior. También es posible utilizar grabaciones de video, tal como se describió para la cola excedente. Al igual que para el caso anterior, se recomienda promediar al menos 30 observaciones.

### 9.1.8.2 Procedimientos de medición para intersecciones de prioridad

La formación y disipación de la cola en una pista utilizada por un movimiento secundario en una intersección de prioridad no sigue un proceso cíclico como en el caso de las intersecciones semaforizadas. En cambio, la cola varía en función del flujo y la capacidad del movimiento, ésta última depende a su vez del flujo prioritario que enfrenta dicho movimiento.

La longitud de la cola se debe medir cada minuto durante la hora representativa de los períodos de interés. El observador debe medir desde un punto intermedio la cantidad de vehículos en cola. Posteriormente, las mediciones se deben agrupar cada cinco minutos y promediarse durante ese lapso. De esta manera se obtiene un perfil de doce puntos que muestra la evolución de la cola durante la hora de medición. Los costos de esta medición pueden disminuirse muestreando cada cinco minutos alternadamente para varios movimientos, obteniéndose así un perfil de seis puntos por hora.

Tal como en el caso semaforizado, las colas se miden por pista en unidades de vehículos, especificando su composición.

### 9.1.8.3 Recomendaciones para determinar la cantidad y localización de puntos de control

Las mediciones de longitud de cola son necesarias para el proceso de calibración dependiendo del modelo de transporte que se utilice en el análisis del proyecto. En intersecciones semaforizadas con bajo grado de saturación la cola excedente es nula, por lo mismo solamente tiene sentido medir cola máxima. En intersecciones de prioridad la cola promedio es también cercana a cero si el grado de saturación es bajo. Por esto, las mediciones de longitud de cola se deben realizar en las intersecciones más congestionadas del área de referencia.

La cantidad de puntos de medición debe ser establecida caso a caso en función del nivel de congestión que se observe en las intersecciones críticas del área de referencia, buscando generar una muestra representativa de las distintas condiciones de circulación: presencia de buses, proporción de virajes, etc.

Las mediciones de longitudes de cola solo pueden ser realizadas en accesos cuya cola no invada una intersección semaforizada aguas arriba. Tampoco la medición puede ser realizada en accesos cuya descarga de la cola se vea afectada por bloqueos aguas abajo.

### 9.1.9 Flujos de saturación

El flujo de saturación es la máxima tasa de descarga de una cola de vehículos formada en una pista de una intersección semaforizada. Este flujo de saturación corresponde a un valor base, denominado flujo de saturación básico, que es afectado por aspectos geométricos de la

intersección, por la composición del flujo según tipo de vehículo y movimiento en la pista, paraderos de transporte público e incluso por el período del día. El flujo de saturación es máximo para movimientos directos compuestos solamente por vehículos livianos.

Considerando que cada pista puede poseer un flujo de saturación diferente, y a la dificultad que representa su medición, normalmente se utiliza un valor estimado. Esta estimación puede hacerse de dos maneras. La primera es más simple y apropiada para la modelación de redes de asignación, y considera valores estándar por tipo de pista. La segunda es apropiada para intersecciones aisladas o modelación de redes de semáforos, y estima individualmente el flujo de saturación en función de sus características específicas físicas y operacionales, y es explicado en el Manual de Programación y Modelación de Semáforos.

### 9.1.9.1 Selección de pistas

La medición de flujo de saturación debe ser realizada por pista, identificando cuál de ellas es la analizada.

Las pistas seleccionadas deben ser aquellas que permitan representar adecuadamente los distintos fenómenos que se produzcan en las intersecciones del área de referencia. Por ejemplo, pistas con movimientos directos de automóviles livianos, pistas con paraderos de buses, pistas con múltiples movimientos, entre otras según sea el caso.

### 9.1.9.2 Procedimientos de medición

Se debe registrar la cantidad de vehículos que se descargan de la pista luego de iniciado su período de verde. Cuando el séptimo vehículo cruce la línea de detención se debe iniciar el registro de tiempo. El conteo de vehículos y tiempo deben continuar hasta que se produzca la descarga del último vehículo que alcanzó a detenerse al final de la cola, o bien hasta que finalice la descarga una vez que termine el período de verde (lo que ocurra primero). Durante la medición se recomienda utilizar el paso del parachoques trasero para establecer el momento en el que un vehículo cruza la línea de detención. La observación será válida sólo si la descarga no se ve alterada, por ejemplo, por bloqueos aguas abajo de la intersección, interferencia con cruce peatonal (caso de pista con virajes), otro.

El flujo de saturación corresponde al cociente entre el total de vehículos reales que se descargaron y el tiempo total de descarga, durante el período de medición. Para obtener el flujo de saturación en unidades de  $\text{veq/h}$ , se deben aplicar los factores de equivalencia por tipo de vehículo y movimiento los que se determinan a partir del flujo total por tipo de vehículo y movimiento de la pista medida.

La medición puede realizarse con observadores o a través de la grabación en video, la que permite determinar con mayor precisión los instantes de pasada por la línea de detención. En este último caso, es necesario disponer de imágenes que muestren la línea de detención y la longitud de la cola.

Se debe tener particular cuidado en la identificación del último vehículo que se incorporó a la cola (el último que se detuvo completamente), para considerar en el registro solamente aquellos que estuvieron detenidos en ella.

#### **9.1.10 Catastro de transporte público**

El catastro de transporte público en el área de referencia recoge las características operacionales del modo, necesarias para el diagnóstico, el diseño del proyecto, y la modelación de transporte.

El catastro se realiza a partir de la información registrada por los servicios autorizados en el área de referencia, que administra la respectiva Secretaría Regional Ministerial de Transportes y Telecomunicaciones.

El catastro de transporte público puede considerar, entre otros:

- Identificación de líneas y variantes.
- Trazado de cada línea-variante.
- Frecuencia por período.
- Tarifa por período.
- Antigüedad y tamaño de la flota.
- Capacidad de los vehículos.
- Localización de paraderos, terminales y puntos de regulación de frecuencia.

#### **9.1.11 Medición de frecuencias de transporte público**

Para las líneas y variantes identificadas en el catastro de recorridos se debe medir las frecuencias en cada uno de los períodos de análisis.

La medición se debe realizar en al menos un punto del recorrido dentro del área de referencia. La cantidad de medidores debe establecerse en terreno según la magnitud de los flujos y la cantidad de servicios que se deben registrar.

Los medidores se deben ubicar en lugares donde los vehículos se detengan de manera que se pueda identificar a qué servicio pertenece cada vehículo.

## 9.1.12 Catastro de rutas de camiones

En este caso generalmente no existen recorridos fijos como los de los buses, sino que un conjunto de vías que son utilizadas con mayor frecuencia por los camiones. En el catastro se deben considerar vehículos de dos y más de dos ejes separadamente.

Dependiendo del proyecto estudiado, el catastro de camiones puede incluir los siguientes antecedentes:

- Rutas (secuencia de calles) utilizadas por camiones dentro del área de estudio.
- Restricciones a la circulación de camiones ya sea por período o en vías específicas.
- Origen y destino de los vehículos.

Si dentro del área de referencia existen centros relevantes de generación o atracción de este tipo de vehículos, es recomendable solicitar los antecedentes sobre las rutas utilizadas a las respectivas empresas generadoras o receptoras de carga.

La información recopilada debe ser complementada con los datos de flujos vehiculares recogidos en las mediciones de tránsito.

## 9.1.13 Medición de actividad de paraderos de transporte público

Los paraderos representan elementos críticos para la operación de los servicios de buses y taxibuses. En consecuencia, para los proyectos que impacten al transporte público, se recomienda recoger información que permita caracterizar su funcionamiento:

- Subida y bajada de pasajeros por línea-variante.
- Flujo de buses por línea-variante que se detienen (y no se detienen) en el paradero.
- Uso de los sitios de detención.
- Existencia de operación en segunda fila.
- Otros de interés.

También se requieren antecedentes sobre las características físicas del paradero, los cuales son parte del catastro operativo, y eventualmente otras características, dependiendo de si se desea simular la operación (motivo de la no detención, pasajeros que no pueden ascender, etc.).

### 9.1.13.1 Criterios de selección de paraderos

Los paraderos que se deben analizar generalmente serán los que se ubiquen en los ejes sujetos a intervenciones como parte del proyecto y que presenten una actividad relevante. Los paraderos estudiados pueden ser formales (señalizados) o informales.

#### 9.1.13.2 Procedimientos de medición

El procedimiento de medición se basa en disponer de personal en cada paradero para que registre por separado la cantidad de personas que baja y sube a los buses, los flujos de buses, y la forma de operación. La cantidad de personal debe ser definida previamente.

El uso de grabaciones de video es una opción para capturar los datos, particularmente en el caso de paraderos con alta demanda.

#### 9.1.14 Recolección de información de accidentes de tránsito

La información de accidentes de tránsito debe obtenerse de la base de datos de accidentes de tránsito registrados por Carabineros de Chile. Esta información puede ser solicitada directamente a Carabineros de Chile o a través de la CONASET.

La información debe tener la mayor desagregación posible, indicando:

- Tipo de accidente.
- Cantidad y tipos de vehículos involucrados.
- Número de lesionados según gravedad.
- Localización (preferentemente mediante un SIG).

#### 9.1.15 Catastro geométrico-operativo

El catastro operativo debe describir la forma de operación de las intersecciones y las vías en el área de referencia, con el objetivo de apoyar el diagnóstico y generar la información necesaria para representar la operación de la red en el modelo de transporte que se utilice en la evaluación.

En cuanto a la geometría, se debe caracterizar su emplazamiento en planta y alzada, tanto a nivel longitudinal como transversal, identificando sectores singulares que pueden condicionar la operación o seguridad de los diversos usuarios del sistema vial en análisis.

La información recogida en terreno debe presentarse en fichas para cada una de las intersecciones catastradas y en esquemas en planta para los datos a nivel de arcos, adecuadamente levantados en un sistema de información geográfica.

La información que se recopile en terreno debe incluir al menos los siguientes antecedentes para las vías e intersecciones dentro del área de referencia:

- Señalización y demarcación existente, reglamentaria e informativa, indicando además su estado de mantenimiento.

- Sentido de circulación de las calles, indicando la aplicación de esquemas de reversibilidad y su horario.
- Tipo de regulación de cada intersección o cruce peatonal a mitad de cuadra, incluyendo el diseño de fases y la programación de las intersecciones semaforizadas.
- Número de pistas existentes y pistas útiles de los accesos de cada intersección, señalando la especialización que cada una tenga, ya sean pistas exclusivas de viraje, de transporte público, etc.
- Longitud de las vías entre líneas de detención.
- Características geométricas del espacio vial necesarias para estimar la capacidad de las corrientes vehiculares y peatonales, en particular el ancho de pistas, aceras y cruces peatonales.
- Localización y características físicas de los paraderos de transporte público formales e informales.
- Localización de áreas de estacionamiento o de carga-descarga y los horarios de uso asociados.
- Identificación de sectores con desalineaciones en planta y sectores con pendiente fuerte.
- Identificación de estrangulaciones, sectores con falta de conectividad, sectores sin accesibilidad.
- Identificación de desniveles importantes en las calzadas (longitudinal y transversal).
- Identificación y caracterización general de la geometría en planta y alzado de aceras y veredas.

El catastro operativo debe ser realizado en terreno por personal capacitado, que registre en formularios apropiados los datos señalados previamente.

## Sección 9.2 Estudios de base de infraestructura

### 9.2.1 Topografía

#### 9.2.1.1 Generalidades

El terreno, en las áreas en las cuales se producirán modificaciones físicas de la plataforma vial, deberá ser objeto de una representación confiable, apoyada sobre una base o una poligonal triortogonalmente referida, de modo que todo punto de él, de importancia intrínseca o derivada de sus relaciones con el proyecto, sea definible por coordenadas  $(x, y, z)$ , y que todo punto de la

vialidad proyectada sea triangulable a partir de los vértices del sistema de referencia utilizado. En otras palabras, se deberá asegurar la consistencia geométrica entre lo proyectado y lo existente.

El procedimiento topográfico a realizar durante el estudio, así como el alcance y grado de desarrollo de la representación gráfica del terreno y de sus contenidos urbanísticos, depende de las características del proyecto estudiado y de las características de las obras previstas. Por ejemplo, cuando la naturaleza del estudio obligue a plantear un área de referencia mucho más extensa que las superficies presumiblemente afectadas o influidas por el proyecto, dichas tareas, alcance y desarrollo podrán ser graduadas para cada fase del estudio (Prediseño y Anteproyecto) con el fin de reducir los costos del levantamiento.

### 9.2.1.2 Tecnologías

Los levantamientos podrán ser ejecutados mediante instrumental óptico, electrónico u otro apropiado, acreditándose su buen funcionamiento y mantenciones a través de certificados de revisión.

Hay distintos tipos de levantamientos, según instrumental y método aplicados, a continuación se indican algunos de ellos.

- Levantamientos distanciométricos: método de uso más frecuente en el levantamiento de ejes viales y normalmente se desarrolla con distanciómetros.
- Levantamientos fotogramétricos: método que requiere, conjuntamente, del empleo de fotografías que cubren la zona de interés, tomadas con cámaras que cumplen con ciertos requisitos de fabricación, y de la determinación en terreno de las coordenadas de cierto puntos claramente identificables en las fotos, y ubicados en lugares apropiados, con el fin de ligarlos en coordenadas y cota al sistema único de referencia del estudio.
- Levantamientos con GPS: a través de un receptor de señales se logra detectar, convertir y procesar las señales transmitidas por los satélites y obtener mediciones, siendo los denominados receptores geodésicos los que logran mejores precisiones.
- Levantamientos mediante laser aerotransportado (LIDAR): método de uso más reciente en nuestro país que consisten en sistemas aerotransportados que generan rayos láser, cuyo rebote en el terreno permite calcular las coordenadas del punto de incidencia de la señal, al estar referido el equipo a un sistema GPS.

La metodología detallada sobre los procedimientos de levantamiento, procesamiento y control, así como las características que deben cumplir los instrumentos se reportan en el Capítulo 2.300 de MOP (2013).

### 9.2.1.3 Alcance de la topografía

La representación gráfica del terreno debe cubrir toda el área de referencia de estudio, independientemente de que se opte por graduar el nivel de detalle del levantamiento según los requerimientos crecientes del prediseño y el anteproyecto. La extensión de la topografía deberá extenderse en la dirección de los ejes viales concurrentes a la zona en estudio, con la finalidad de asegurar la cabal definición de las zonas de empalme entre lo proyectado y lo existente.

En el sentido transversal, el levantamiento debe cubrir las distancias necesarias para desarrollar el empalme vertical de las vías y longitudes de transición correspondiente a alineamientos de ejes transversales en planta o eventuales pistas de viraje, distancia que en general no debe ser inferior a 50 metros.

### 9.2.1.4 Contenido de la topografía y simbología.

La planta topográfica deberá representar y distinguir todos los elementos físicos existentes en el terreno que sean importantes para la definición y cubicación de las obras diseñadas.

Respecto a la simbología y códigos de planos en formato papel y digital (CAD), este debe permitir identificar claramente elementos puntuales, lineales y superficiales, tanto para los MSA, como para los diseños propuestos en los diversos niveles de análisis. En los casos en que se complemente con información de proyectos futuros, estos también deben ser identificados con códigos y colores específicos.

Cualquiera sea la nomenclatura empleada, esta debe identificar al menos los siguientes aspectos, asociándolos a capas correspondientes:

- Terreno (identificando si hay más de una fuente de levantamiento)
- Proyecto
- Alternativa (conceptual, prediseño, anteproyecto)
- Topografía
- Diseño
- Pavimentos (existentes y proyectados)
- Vialidad proyectada
- Servicios (existentes y proyectados)

- Estructuras (existentes y proyectadas)
- Código exclusivo para identificación de cada elemento en archivo digital
- Códigos del tipo de elemento en archivo digital (cota, línea, elemento 3D, bloque, cuadro, etc.)
- Códigos de apoyo gráfico (colores de trabajo y ploteo, formatos, etc.)
- Biblioteca de bloques de elementos existentes y proyectados

Existen organismos que cuentan con un itemizado de obras y simbologías asociadas definidas, tanto para el estado actual como de proyecto, los que son exigidos en sus estudios, al igual que los formatos y viñetas de planos.

Cualquiera sea la nomenclatura empleada, esta deberá ser explicitada en la memoria de estudios topográficos y además se deberá incorporar un diccionario de cada elemento levantado, acompañado del código correspondiente y una descripción en el caso que se requiera. También se deberá indicar la aplicación CAD que se usó para la generación de la base cartográfica digital.

#### 9.2.1.5 Sistema de referencia

La topografía en planta de la zona objeto de diseño se representará sobre un sistema ortogonal de referencia. Este sistema, orientable según coordenadas oficiales o relativas, se fundará en una base o una poligonal cuyos extremos o vértices serán estabilizados en terreno mediante obra de hormigón o con clavos HILTI o similares, de tal modo, que en cualquier momento del estudio, o incluso en instancias posteriores del proyecto, deberá ser posible entregar coordenadas  $(x, y, z)$  de los puntos existentes en el terreno, así como replantear abscisas y ordenadas que se definan durante el anteproyecto.

El eje de las ordenadas de este sistema estará orientado en la dirección norte-sur, con el sentido creciente de las ordenadas ( $y$ ) dirigido hacia el norte. Esta orientación será aproximada en el caso relativo y preciso en coordenadas oficiales.

- Bases: Si la extensión y forma de la zona lo permiten, el levantamiento topográfico podrá basarse en una línea, de preferencia coincidente con algún elemento urbano lineal que no se vea afectado por el proyecto. Esta línea deberá quedar definida por dos puntos. Las coordenadas relativas de tales puntos deben ser datos al menos una vez redundantes, con el fin de poder reproducir los hitos que los materializan; esto en caso de deterioro accidental o inevitable de los mismos. Es decir, deben entregarse, además de las coordenadas relativas de esos puntos basales (cuyo cálculo implica la medición de la

distancia que los separa), los ángulos (en grados centesimales) del triángulo formado por dichos puntos y un tercer vértice externo inmutable. En caso de no existir tal vértice, al menos uno de los puntos de la base, de preferencia ambos, tendrán asociados otros dos puntos externos a la zona de proyecto, que serán base auxiliar para la eventual reposición de los hitos dañados o levantados durante las obras.

- Poligonales: Cuando la extensión, forma de la zona objeto de rediseño o la cuantía de las obras no permitan la simplificación anterior o justifiquen un abundamiento, se deberá recurrir a la materialización en terreno de una poligonal formada por tres o más vértices. Estos puntos deberán materializarse físicamente del modo ya descrito, y los valores  $(x, y, z)$  de sus coordenadas relativas deben ir acompañados de los ángulos que caracterizan a cada uno de los vértices de la poligonal (en grados centesimales). Además, para al menos dos de dichos vértices, deberá entregarse bases auxiliares, externas a la zona en cuestión, con el mismo fin de reposición eventual anteriormente detallado.

Respecto a los sistemas de referencia geodésicos a emplear (WGS84, SAD69, SIRGAS), estos pueden variar dependiendo del proyecto, no obstante, en la sección 2.300 de MOP (2013) se reportan definiciones y recomendaciones para las transformaciones que requiera un proyecto particular.

#### 9.2.1.6 Puntos representados por coordenadas

Además de la representación gráfica en planta y elevación especificada, se debe generar un listado de coordenadas  $(x, y, z)$  de los siguientes elementos:

- Coordenadas de vértices de la topografía: Se debe entregar las coordenadas de los puntos utilizados como estaciones de la base o como vértices de la poligonal.
- Coordenadas de elementos físicos: Se deben determinar las coordenadas de aquellos elementos cuya afección por el diseño represente aumentos importantes de costo, como ocurre con ciertas edificaciones, obras de infraestructura o especies vegetales extraordinarias. Esto con el objeto de poder establecer matemáticamente la distancia entre dichos elementos físicos y los elementos del diseño que podrían afectarlos.
- Coordenadas de las alineaciones viales de borde: Para que sea posible relacionar consistentemente las coordenadas de los elementos en terreno con los puntos del trazado del proyecto, también deberán obtenerse coordenadas  $(x, y, z)$  de los puntos que definan las alineaciones viales, rectas o curvas, de las que se desprenderán o sobre las que llegarán los ejes de replanteo de la infraestructura proyectada. Uno de tales puntos será próximo o coincidente con el límite de la topografía en el sentido de la vialidad.

### 9.2.1.7 Representación básica en elevación

La altimetría de la zona de referencia deberá representarse en planta, mediante curvas de nivel y, ocasionalmente, con perfiles de las calzadas existentes.

- Curvas de nivel. Las cotas de terreno quedarán reflejadas en la planimetría mediante curvas de nivel cada 0,25, 0,50 o 1,00 metros, dependiendo de las pendientes naturales promedio del terreno.
- Perfiles de calzadas existentes. Cuando los nuevos esquemas aprovechen las calzadas existentes (por ejemplo: ensanches de calzada), la altimetría de estas se reflejará mediante perfiles longitudinales y transversales. Los longitudinales, levantados a lo largo del eje de simetría de dichas calzadas o de líneas de solera paralelas a este, tendrán origen y final en los límites definidos en 9.2.1.3; y los transversales, apoyados sobre estos puntos acotados, deberán cubrir toda la plataforma. En el caso de utilizarse líneas de solera como base del perfil, las cotas de este deberán ser las de pavimento, sin perjuicio de que en los perfiles transversales se refleje la cota superior correspondiente.
- Zonas de borde. Para todo proyecto se definirán detalladamente los bordes viales del área objeto de diseño; o sea, las zonas de empalme de la vialidad existente con la proyectada. Tal definición requiere, además de las coordenadas de los puntos descritos en 9.2.1.6, sendos perfiles transversales, situados a diez metros a cada lado de los límites de la zona topografiada. Si la sección transversal de las calzadas existentes presenta variaciones de dimensiones o de inclinación (transición de peraltes) en la zona de borde, será necesario definir dicha variación con dos perfiles a cada lado de los límites establecidos, también cada diez metros.

### 9.2.1.8 Topografía de sectores especiales

Una vez parametrizados los ejes y determinados los puntos donde se construirán estructuras u otras obras especiales (canales, líneas férreas, obras hidráulicas, etc.), si se requiere mayor precisión topográfica, se procederá a densificar el levantamiento original para producir una planta a escala 1:250 y con curvas de nivel cada 0,25 metros.

### 9.2.1.9 Topografía para prediseños

La descripción gráfica del terreno puede ser reducida cuando el área de referencia sea mucho mayor que la que presumiblemente constituirá el área de intervención, y se tengan buenas razones para creer que la definición de esta última habrá de reducir el alcance de la topografía y los costos del estudio. En tales circunstancias será suficiente una planta en la que se destaquen los

límites de la plataforma pública, las líneas de solera o bordes de pavimento, y las obras de arte y especies vegetales de gran significación, todo ello marcado según corresponda.

Esta planimetría podrá provenir de levantamientos *in situ* o de restituciones aerofotogramétricas existentes, aceptándose escalas hasta de 1:2.000. En el caso de los proyectos de gestión en redes, y en particular para los efectos de bosquejo de ideas, el punto de partida de la representación podrá simplificarse aún más. Todo esto sin perjuicio de hacer oportunos levantamientos de las zonas donde se prevean modificaciones de la plataforma vial, los cuales deberán regirse por las especificaciones anteriores.

### 9.2.1.10 Topografía para anteproyecto

Una vez concluida la fase de prediseño, será necesario complementar la información topográfica obtenida inicialmente para el área de referencia. Este será el momento de completar el contenido y nivel de detalle de la topografía en el caso de haberse reducido el nivel de detalle en la etapa inicial.

Considerando que la solución geométrica operativa debe resolverse a nivel definitivo, la precisión recomendada en esta fase es 1:500, pudiendo utilizarse 1:1.000 en situaciones en que las intervenciones sean simples y con esa escala la definición en planta y alzada quede definida a cabalidad.

Solo cuando los estudios no involucren diseño de infraestructura, o cuando el alcance de las modificaciones de la vialidad se reduzca a pequeños ensanches, rectificado de curvas en esquinas, islas sobrepuestas y obras menores en general, no será necesario desarrollar más que una planimetría simple. En este caso se podrá prescindir de información altimétrica.

Si el estudio se refiere a la creación de vialidad nueva en entornos urbanos no definidos, se recomienda complementar con restituciones aerofotogramétricas donde se destaque la morfología de las propiedades eventualmente afectadas.

La información que se requiere complementar para el desarrollo del diseño geométrico a nivel de anteproyecto puede obtenerse de un modelo digital generado a partir de estudios topográficos, o también de un proceso de replanteo de las soluciones preliminares seleccionadas.

- Parametrización geométrica de ejes: Una vez concluida la fase de prediseño y seleccionadas la alternativa que se desarrollará a nivel de anteproyecto, se deberá resolver matemáticamente el trazado de los ejes viales sobre los que se apoyan los diseños seleccionados. Esta definición supone el cálculo de coordenadas  $(x, y)$  de puntos del eje distantes entre sí cada 20 metros (puntos de perfil), además de otros puntos

singulares que definen la geometría en planta (principio y final de curvas, principio y final de transiciones, etc.).

- Perfil longitudinal de anteproyecto: Los ejes viales parametrizados (ejes de replanteo) deberán nivelarse para generar perfiles longitudinales de terreno a lo largo de ellos. Los puntos nivelados serán los mismos puntos de perfil y puntos singulares mencionados anteriormente. Estos se miden directamente en terreno o se obtienen de un modelo topográfico digital.
- Perfiles transversales de anteproyecto: Apoyándose en los puntos de perfil y puntos singulares nivelados, se deberán generar perfiles transversales al eje de replanteo. Estos se miden directamente en terreno o se obtienen de un modelo topográfico digital.

En situaciones que se pretenda el uso de levantamientos existentes, dentro de los procedimientos de validación se deberá considerar lo siguiente:

- Si se detectan sectores desactualizados, se debe actualizar mediante topografía nueva o plano *as-built* del sector.
- En casos de terremotos u otros eventos naturales que alteren considerablemente la geografía del terreno, cuestionar pertinencia de utilizar topografías existentes.
- Si el nivel de actualización, completitud y precisión no se considera suficiente para las características del proyecto, se debe realizar un levantamiento en los ejes de diseño.

## 9.2.2 Geotecnia

### 9.2.2.1 Generalidades

La recolección de información relativa a la calidad de los suelos de fundación presente en el área del proyecto, se orienta hacia dos aspectos del problema: el diseño de los pavimentos y el diseño de fundación de estructuras. En ambos casos, el tratamiento dado en este Manual a las exigencias necesarias para cumplir con los propósitos indicados, son necesariamente de carácter general, complementándose con la amplia normativa vigente de la Dirección de Vialidad del Laboratorio Nacional de Vialidad y del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Siempre será deseable contar inicialmente con un registro geológico y geotécnico del área de proyecto, realizado a partir de antecedentes existentes, con el objeto de organizar los estudios de base e identificar en terreno eventuales condicionantes geológicas y geotécnicas relevantes, precisando sus condiciones, características y riesgos asociados.

## 9.2.2.2 Niveles de detalle

El tipo y magnitud de las obras que se proyectan condicionará el alcance de esta actividad. Por tal razón, en un primer nivel de detalle, se aceptará el desarrollo de prediseños sobre la base de información de calidad de suelo que pudiera existir en proyectos y obras relacionadas en el área de estudio. De no encontrarse información, se deberá dimensionar pavimentos y fundaciones sobre la base de la experiencia del especialista, estableciéndose los supuestos adoptados en relación a la calidad del suelo.

En un segundo nivel, una vez decidido el prediseño a desarrollar en anteproyecto, se complementará dicha información con un programa de muestreos y ensayos, condicionado por las características de estos, según se describe en los párrafos siguientes.

Solo se evitará una exploración si se cuenta con un estudio geotécnico reciente en el área de proyecto, con certificados de los ensayos realizados y que cumplan con las exigencias mínimas que se indican a continuación.

## 9.2.2.3 Programa de reconocimiento

El reconocimiento del suelo se efectuará en base a calicatas o zanjas y sondajes, cuya extensión y profundidad dependerá de la homogeneidad del suelo que conforma la subrasante o el suelo de fundación de las estructuras y que deberá ser determinado por un especialista.

Para pavimentos, se deberá tener información a través de calicatas en la densidad que se indica a continuación:

- Aperturas: contar con información en base a calicatas cada 500 metros de calzada.
- Pavimentos nuevos y repavimentación: contar con información en base a calicatas cada 500 metros de calzada, identificando dimensiones de la estructura de pavimentos existente.
- Mejoramientos: no es necesario realizar calicatas, sino más bien hacer una monografía de pavimentos existentes y si el proyecto lo amerita se debe apoyar con instrumentación especializada.

La profundidad de estas calicatas para pavimentos será normalmente de 1,5 metros, la que deberá aumentar en casos que sea necesario identificar suelos bajo esa cota, por ejemplo en proyectos que consideren cortes importantes.

Para estructuras, será necesario efectuar al menos una calicata por componente fundada en el suelo (cepa, estribo, otro), que alcance al menos la profundidad de fundación estimada por el

especialista o un sondaje en el caso de no poder materializarse la exploración anterior por medio de calicatas, por necesidad de reconocer terreno bajo presencia de napa o de reconocer el perfil a una profundidad mayor a 8 metros.

#### **9.2.2.4 Programa de muestreos**

El muestreo de cada calicata ejecutada considerará la extracción de una muestra por estrato probable de fundación, para ser sometida a los ensayos correspondientes. Las cantidades de muestra a extraer deberán cumplir con lo expresado en la Norma Chilena Oficial (NCh), para cada uno de los ensayos a realizar.

#### **9.2.2.5 Programa de ensayos**

Los ensayos a desarrollar tanto en sitio como en laboratorio se describen ampliamente en la literatura técnica existente, junto con las normas chilenas y extranjeras que las definen y condicionan. Los ensayos mínimos para suelos granulares y finos serán los siguientes: granulometría y clasificación, límites de Atterberg, peso específico de los sólidos, densidad y humedad naturales, densidades máxima y mínima (suelos granulares), Proctor modificado y capacidad de soporte CBR.

#### **9.2.2.6 Exploraciones especiales**

Para obras o suelos que requieran exploraciones especiales, estas se realizarán acorde a los requerimientos específicos de la obra o tipo de suelo, empleando procedimientos comprobados en el ámbito nacional y con la asesoría de un especialista geotécnico.

El especialista deberá entregar un informe que contenga, la exploración realizada, ensayos consultados y recomendaciones del diseño de fundaciones, de los tratamientos de los suelos de apoyo, de inclinación de taludes, etc.

### **9.2.3 Hidrología**

#### **9.2.3.1 Generalidades**

Los estudios hidrológicos relacionados con un proyecto vial tienen por objetivo definir las crecidas para el diseño de las obras de drenaje transversal, y los caudales que deben evacuar las obras de drenaje y saneamiento de la plataforma. Los estudios de erosión y arrastre deben permitir la construcción y materialización de las obras viales, manteniendo en niveles aceptables los efectos adversos relativos a estos problemas.

Los estudios hidrológicos permiten abordar el dimensionamiento y verificar el comportamiento hidráulico de obras tales como puentes, alcantarillas, fosos, canales, cunetas, colectores y en general obras de conducción de aguas, que deban ser proyectadas o modificadas para el diseño de vías urbanas. Estos estudios también son necesarios para conocer el comportamiento de los cauces naturales que la obra vial debe salvar.

Los estudios hidrológicos son necesarios para el análisis y diseño de puentes, canales, sumideros, colectores y alcantarillas, para evaluar los efectos que tienen las obras por proyectar sobre la distribución de velocidades en los cauces, sobre las alturas de escurrimiento, sobre la estabilidad de los cauces, sobre el régimen del escurrimiento, sobre el arrastre de sedimentos y sobre la erosión. En general, los principios hidráulicos rigen el análisis y diseño de las obras de drenaje transversal, de las obras de drenaje subterráneo y las necesarias para asegurar un adecuado drenaje de la plataforma.

### **9.2.3.2 Niveles de detalle**

El tipo y magnitud de las obras que se proyectan condicionará el alcance de esta actividad. Por tal razón, en un primer nivel de detalle, se aceptará el desarrollo de prediseños sobre la base de información hidrológica que pudiera existir en proyectos y obras hidráulicas relacionadas en el área de intervención. De no encontrarse información, se deberá dimensionar obras de saneamiento, puentes, canales y colectores, entre otras, sobre la base de la experiencia del especialista, estableciéndose los supuestos adoptados.

En un segundo nivel, una vez decidido el prediseño que será desarrollado en anteproyecto, se complementará dicha información con estudios específicos y necesarios para las obras que se deben dimensionar en estas materias. Para ello, se recomienda consultar el Capítulo 2.400 de MOP (2013), y MINVU (2008), entre otros documentos.

## **9.2.4 Pavimentos**

### **9.2.4.1 Generalidades**

La condición funcional del pavimento se refiere a la mayor o menor dificultad que presenta el pavimento al paso de los vehículos. En su cuantificación se han establecido indicadores como el Índice de Serviciabilidad ( $p$ ) y el International Roughness Index (IRI).

El índice de serviciabilidad es un concepto que combina la irregularidad superficial (rugosidad) con el deterioro estructural (grietas y parches). Este indicador está fuertemente condicionado por la rugosidad. Su cálculo se encuentra detallado en AASHTO (1993).

El IRI es un indicador normalizado de la irregularidad del pavimento y se aplica a modelos de costo de los usuarios. Su determinación es una tarea delicada de difícil apreciación subjetiva, a pesar de lo cual, es muy usual estimarlo a través de una escala de apreciaciones descriptivas.

#### **9.2.4.2 Cobertura**

La información básica relativa a los pavimentos en el área de intervención se deberá obtener a partir de una inspección visual en terreno, cubriendo todos los pavimentos del área de estudio, de calzadas, veredas, ciclovías y otras componentes posibles.

#### **9.2.4.3 Niveles de detalle**

Se considerará dos etapas de recolección de información: la primera corresponderá al nivel necesario para estimar reposiciones y modificaciones originadas en los prediseños; la segunda considera la complementación de dichos antecedentes hasta el nivel requerido para desarrollar los anteproyectos, considerando los procedimientos que a continuación se indican.

#### **9.2.4.4 Índice de serviciabilidad por auscultación visual**

Consiste en la recolección de información de terreno apreciable visualmente, sobre el estado, tipo y características de la superficie de pavimentos, identificando áreas de pavimentos con características homogéneas, describiendo sus principales fallas y estimando un indicador del nivel de serviciabilidad (p).

En la Metodología de Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano (MANVU) se define un procedimiento de auscultación visual de pavimentos rígidos y flexibles. Luego, el índice de serviciabilidad se puede determinar aplicando esta metodología.

#### **9.2.4.5 Procedimientos con uso de instrumentación**

Para proyectos en que la evaluación del estado de los pavimentos es relevante para las decisiones de inversión que se están analizando, se recomienda hacer una evaluación estructural del pavimento, cuantificando la capacidad estructural remanente del pavimento, haciendo uso de instrumentos especializados.

Lo anterior es necesario, debido a que la falta de capacidad estructural de un pavimento genera en este un deterioro progresivo que se manifiesta en niveles excesivos de agrietamientos y deformaciones, no recuperables a través de la simple aplicación de acciones de conservación preventivas.

En la figura y tabla siguiente se muestra un diagrama del proceso de evaluación de estructuras de pavimentos, indicando ventajas y desventajas de los métodos recomendados.

Figura 9.2.4-1  
Métodos de evaluación de pavimentos

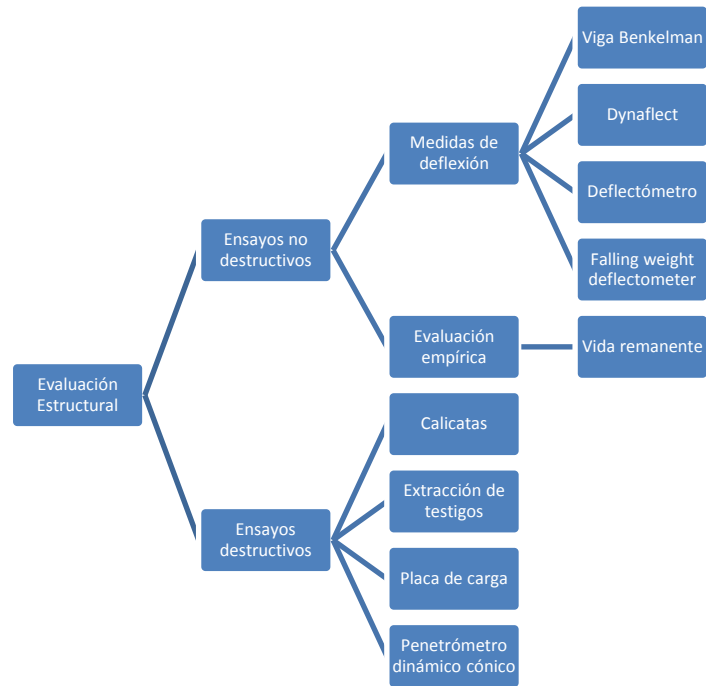


Tabla 9.2.4-1  
Procedimientos instrumentales de evaluación de pavimentos

PROCEDIMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Viga Benkelman	Aparato más simple para medir deflexiones y de menor costo. No altera el pavimento. Parámetro base de métodos de evaluación estructural.	Bajo rendimiento. Mide solo deflexión máxima.
Deflectómetro	Alto rendimiento. No altera el pavimento.	Equipo sofisticado de alto costo. Solo deflexión máxima es utilizable como parámetros de evaluación.
Dynalect	Alto rendimiento. No altera el pavimento. Mide deflexiones en varios puntos del cuenco.	Equipo sofisticado de alto costo. Cargas menores y con menor precisión
Falling weight deflectometer	Alto rendimiento. No altera el pavimento. Mide deflexiones en varios puntos del cuenco. Parámetro base de evaluación de algunos métodos.	Equipo sofisticado de (FWD) alto costo. Mejor precisión en mediciones.
Vida remanente	Estimación simple y de costo mínimo, si se cuenta con la información.	Difícil de estimar tránsito a la fecha. Poco recomendable.
Calicatas	Evalúa en forma real las propiedades de los materiales del pavimento.	Alteración del pavimento. Muy bajo rendimiento.
Extracción de testigos	Evalúa en forma real las propiedades de los materiales de las capas de rodado. Alteración mínima del pavimento. Necesario y recomendable para los métodos de diseño.	Solo aplicable a los materiales de superficie.
Placa de carga	Evalúa en forma real la capacidad de soporte de las capas de pavimento.	Alteración significativa del pavimento a un alto costo. Muy bajo rendimiento.
Penetrómetro (DCP)	Evalúa en forma real las propiedades de los elementos granulares del pavimento.	Solo aplicable a capas granulares.

### 9.2.5 Catastro físico-operativo y de seguridad vial

El objetivo de esta actividad es, por una parte, describir la operación de las intersecciones y las vías en el área de referencia, con el objetivo de apoyar el diagnóstico y generar la información necesaria para representar la operación de la red en el modelo de transporte que se implemente.

Por otra parte, se busca caracterizar el emplazamiento de vías e intersecciones en planta y alzada, tanto a nivel longitudinal como transversal, identificando sectores singulares que pueden condicionar la operación o seguridad de los diversos usuarios del sistema vial en análisis.

La información recogida en terreno debe presentarse en fichas para cada una de las intersecciones catastradas y en esquemas en planta para los datos a nivel de arcos, adecuadamente levantados en un sistema de información geográfica. La información básica relativa a la operación y seguridad

de las vías involucradas se debe obtener a partir de una inspección visual en terreno, cubriendo todas las fajas funcionales (pistas vehiculares, peatonales, ciclovías, etc.) existentes en la plataforma vial de proyecto.

La información de terreno debe ser recopilada por personal capacitado, y debe incluir al menos los siguientes antecedentes para las vías e intersecciones dentro del área de referencia:

### **9.2.5.1 Catastro de intersecciones**

Se deben identificar: el tipo de regulación de cada intersección, líneas de detención, los circuitos peatonales de la intersección, dispositivos de rodado, prohibición de movimientos o de tipos de vehículos, el número de pistas reales y pistas útiles de los accesos de cada intersección, la especialización de cada pista si corresponde (pistas exclusivas de viraje, de transporte público, otros), el diseño de fases y la programación semafórica en el caso de intersecciones semaforizadas.

Se debe representar también la interacción de los diversos usuarios (vehículos, peatones, ciclistas, otros), identificando los conflictos y sus participantes, además de los elementos y dispositivos presentes para ello y describiendo su materialidad, estado de conservación y funcionalidad.

Además de lo anterior, se incluyen aspectos geométricos de las intersecciones necesarios para estimar la capacidad de las corrientes vehiculares y peatonales, en particular el ancho de pistas, aceras y cruces peatonales.

Con respecto a la semaforización, deben también describirse en un documento adjunto las instalaciones existentes y los controladores, verificándose el cumplimiento de las especificaciones de la norma UOCT, la factibilidad de su futura integración a un sistema SCAT, y el estado de conservación de los equipos. Para estos efectos, se deben revisar cámaras y gabinetes, generando una ficha y registro fotográfico.

### **9.2.5.2 Catastro de vías**

En este catastro deben identificarse: la longitud de vías entre líneas de detención, el sentido de circulación de las calles, indicando la aplicación de esquemas de reversibilidad y su horario; así como también exclusividad, existencia de pistas sólo bus y cualquier otra medida de gestión que sea relevante destacar.

Se deben identificar y describir zonas permitidas para estacionar en la faja vial, determinando si son paralelos, inclinados, segregados o accesos a estacionamientos, las zonas de carga-descarga y sus horarios de uso. Además deben identificarse los conflictos entre distintos usuarios, por ejemplo, entre transeúntes y pasajeros que esperan transporte público en un paradero.

Además de lo anterior, se requiere la caracterización general de la geometría en planta y alzado de aceras y veredas, con el fin de identificar aspectos geométricos tales como el ancho de pistas, aceras y cruces peatonales, sectores con desalineaciones en planta y sectores con pendiente fuerte, estrangulaciones, sectores con falta de conectividad, sectores sin accesibilidad.

### **9.2.5.3 Facilidades de transporte público**

Se deben identificar las características de las facilidades para el transporte público (buses, taxis colectivos, taxis básicos, etc.) existentes, concentrándose especialmente en las zonas de parada y de intercambio de pasajeros. La información es generada mediante inspección visual.

Debe identificarse la totalidad de los paraderos existentes, sean estos formales e informales, junto con definir sus principales características físicas y operativas, entre las cuales se pueden destacar: el tipo de paradero, el número de sitios de parada, la distancia a la intersección más cercana aguas abajo, y las características de los refugios existentes. Para tales efectos, en cada zona de parada se debe generar una ficha que muestre sus dimensiones, la localización, los materiales, el estado de los distintos elementos que lo conforman (zona de parada, andén, refugio, señalización, demarcación, pavimentos, iluminación, entre otros) y los circuitos peatonales de conectividad a la red de veredas de la ciudad.

De manera complementaria se debe analizar la funcionalidad de los paraderos, de acuerdo al menos a las siguientes características: seguridad, interferencias, facilidad de desplazamiento y de subida y bajada, y densidad de peatones en andenes y en circuitos peatonales de accesibilidad al paradero. Además, debe identificarse la existencia de cabezales de recorrido y puntos de regulación de frecuencia.

### **9.2.5.4 Señalización y demarcación**

Este catastro se desarrolla mediante monografías, y tiene por objeto determinar la cantidad y estado de las señales existentes.

Para las señales verticales deben indicarse: la ubicación, el tipo (informativa, preventiva, reglamentaria), dimensiones, estado de conservación, cantidad y materialidad de postes de sustentación.

Para el caso de la señalización horizontal se debe indicar: la ubicación, el tipo de demarcación (continua, detención, pistas, etc.), las dimensiones aproximadas y el estado de conservación.

## 9.2.5.5 Dispositivos de seguridad vial

En forma complementaria a las monografías de señalización y demarcación, se complementa la información con la incidencia de cada uno de los elementos en relación a las condiciones de seguridad existentes. Este complemento se desarrolla analizando la existencia de canalizadores, alertadores, reductores de velocidad, balizas, etc.

## 9.2.6 Instalaciones de servicios

### 9.2.6.1 Generalidades

Las instalaciones de servicios subterráneos, en superficie y aéreos, normalmente condicionan modificaciones de la plataforma vial, por lo que deben ser identificados sobre la cartografía e incorporados en el diagnóstico de infraestructura.

### 9.2.6.2 Cobertura

La información básica relativa a instalaciones de servicios públicos y privados en las vías involucradas se debe obtener a partir de una inspección visual en terreno y levantamiento de cámaras, con el objeto de determinar las redes subterráneas y sus componentes, información que debe superponerse al MSA.

La información de instalaciones de servicios, consiste en la identificación de todos estos elementos existentes en un área equivalente a la considerada en la topografía, sin perjuicio que en etapas posteriores se requiera extender dicha área, a la luz de las características de las reposiciones a realizar.

### 9.2.6.3 Niveles de detalle

Se consideran dos etapas de recolección de información: la primera corresponde al nivel necesario para estimar reposiciones y modificaciones originadas en los prediseños; la segunda considera la complementación de dichos antecedentes hasta el nivel requerido para desarrollar los anteproyectos.

En los acápite que siguen a continuación se presentan metodologías para el desarrollo de los catastros y monografías de servicios.

#### 9.2.6.4 Alcantarillado de aguas lluvias, aguas servidas y agua potable

Los tres servicios indicados contemplan instalaciones subterráneas, por lo que una inspección visual no informa cabalmente de sus características básicas. Los dos niveles mencionados de recolección de información incluirán, en este caso, las tareas agrupadas a continuación.

- Primera etapa de recolección de información. En esta etapa se debe consultar las planchetas de cada servicio en el organismo del caso, de manera de identificar las cámaras, trazados y características básicas de los ductos que las conforman. La información anterior se complementa con los antecedentes recogidos en el levantamiento topográfico, en cuanto a ubicación de cámaras, grifos, sumideros y trazado de las redes, de forma de confeccionar una monografía actualizada de estos servicios. En el caso en que persistan cámaras cuya identificación no pueda ser establecida a partir de las planchetas, debe dejarse constancia en la monografía correspondiente a fin de resolver su procedencia en un segundo nivel. La consulta a los servicios debe dilucidar también la existencia de ideas o proyectos recientes en el área del estudio, con el fin de incorporar las respuestas o los planos correspondientes a la memoria del estudio, o a las monografías si ello procede.
- Segunda etapa de recolección de información. Esta segunda etapa se iniciará una vez decidido el prediseño que será objeto de anteproyecto. Si las interferencias entre los servicios y la vialidad diseñada provocan cambios en el trazado de las redes, se deberá incorporar a la monografía todas las características del alzado de las mismas, al menos en los tramos afectados. El detalle, en el caso de los servicios de aguas lluvias y servidas, debe considerar cotas de anillo y fondo de cámaras, altura de entrada y salida de cada colector en las cámaras a trasladar, longitud y pendiente de tramos, diámetro y material de colectores; y en el caso del agua potable, cotas de válvulas y tuberías, longitud, diámetro y material de tramos.

El levantamiento de las instalaciones subterráneas se complementa con la apertura de cámaras, en una cantidad tal que se tenga claridad absoluta del emplazamiento de los trazados y de los elementos que lo componen.

Parte de las labores será la revisión del Plan Maestro de Aguas Lluvias del Ministerio de Obras Públicas o de la institución que corresponda (en caso que exista) y la identificación de eventuales obras que sean parte del área de intervención.

En el caso de los colectores de aguas lluvias y otras instalaciones de saneamiento de la plataforma, las monografías se deben complementar con los estudios de hidrología realizados, especialmente en relación con los puntos de captación y evacuación, además de la distribución de escurrimientos superficiales.

## 9.2.6.5 Canales

La presencia de canales puede ser por lo general confirmada mediante un recorrido detallado del terreno. Se distinguirán canales abiertos y entubados.

- Primera etapa de recolección de información. En esta etapa se debe consultar a la asociación de canalistas correspondiente, de manera de conocer características básicas del canal y de su operación, información que se complementa con información recogida en la cartografía. El trazado de los canales abiertos surge directamente del levantamiento topográfico, junto con las obras de arte y demás elementos que los conforman. En el caso de canales entubados se deberá tratar de identificar su trazado en planta, junto con el resto de sus elementos constitutivos. Ambos deben ser reflejados en la monografía de aguas lluvias y aguas servidas, salvo que se demuestre la conveniencia de generar una monografía específica para estos servicios.
- Segunda etapa de recolección de información. Dependiendo de si existe interferencia con la solución a desarrollar a nivel de anteproyecto, se deberá describir el alzado de cada canal interferido, caracterizándolo en una longitud suficiente como para abarcar completamente la reposición en cuestión. Dicho alzado, en el caso de canales abiertos, deberá contener las cotas de fondo y de pretilles, sección y nivel de aguas existentes, longitud y pendientes; y en canales entubados, cota de fondo y terreno, sección, longitud, pendiente y material, para cada tramo.

El levantamiento de las instalaciones subterráneas se complementa con la apertura de cámaras, en una cantidad tal que se tenga claridad absoluta del emplazamiento de los trazados y de los elementos que lo componen.

## 9.2.6.6 Electrificación y comunicación

Estos servicios pueden presentar redes aéreas, subterráneas, o ambas. Las primeras pueden identificarse mediante simple inspección visual, estableciéndose sus características básicas en términos de tipo de postes, de electrificación (alta, media o baja tensión), presencia de transformadores y tipo de luminarias (sodio, mercurio, LED, etc.), y cantidad de cableados por cada servicio. Se usan en tal caso los antecedentes planimétricos del levantamiento topográfico para establecer la ubicación de sus elementos.

En cuanto a las redes subterráneas, es posible reconocer en terreno las cámaras, correspondientes, puesto que por lo general se identifica el servicio en la tapa de ellas. Sin embargo, considerando que su inspección queda reservada a los funcionarios de la empresa responsable del servicio, bastará para la elaboración del prediseño con establecer su ubicación.

Respecto a las características (uso, cantidad y dimensiones) de las instalaciones subterráneas, estas serán consultadas en las instituciones responsables, obteniendo idealmente planchetas disponibles.

En el caso de presencia de polductos, esto se indicará en las monografías, informando cantidad y uso o tipo de cada ducto que lo conforma.

Se confeccionará una monografía de ambos servicios.

#### **9.2.6.7 Red de gas**

Las redes subterráneas de gas se pueden identificar a través de la inspección visual de cámaras existentes en el área de estudio, pero de ese modo no se logra obtener la información suficiente para los análisis posteriores, por lo que se debe proceder como se indica a continuación.

- Primera etapa de recolección de información. En esta etapa se debe consultar las planchetas de cada servicio en la compañía responsable, de manera de identificar las cámaras, trazados y características básicas de los ductos que las conforman. La información anterior se complementa con los antecedentes recogidos en el levantamiento topográfico, en cuanto a ubicación de cámaras, de forma de confeccionar una monografía actualizada. En el caso en que persistan cámaras cuya identificación no pueda ser establecida a partir de las planchetas, deberá dejarse constancia en la monografía correspondiente a fin de resolver su procedencia en un segundo nivel. La consulta a los servicios deberá dilucidar también la existencia de ideas o proyectos recientes en el área del estudio, con el fin de incorporar las respuestas o los planos correspondientes a la memoria del estudio, o a las monografías si ello procede.
- Segunda etapa de recolección de información. Esta segunda etapa se inicia una vez decidido el prediseño que será objeto de anteproyecto. Si las interferencias entre las instalaciones de gas y la vialidad diseñada provocan cambios en el trazado de las redes, se deberán incorporar a la monografía todas las características del alzado de las mismas, al menos en los tramos afectados, para lo cual se solicitarán los antecedentes correspondientes en la compañía responsable del servicio.

#### **9.2.7 Expropiaciones**

En materia de expropiaciones, para prediseños, basta con hacer un levantamiento en el área de proyecto y su entorno de propiedades en venta, identificando características generales de la propiedad y sus construcciones, además de obtener el valor de venta. Para lo anterior se realizan inspecciones de terreno y se consultan corredoras, constructoras e inmobiliarias, entre otras posibles fuentes.

Se ubica cada propiedad consultada y se grafica en un plano de planta en el que se muestra la vialidad afectada, indicando valor de venta, superficie de terreno, superficie de construcción y sus características principales (pisos, materialidad, estado y destino).

Para la etapa de anteproyecto, conocida y definida la solución definitiva, se identifican los predios afectados y sobre ellos se realiza un catastro específico, indicando tipo y uso del predio, dimensiones de terreno y construcciones afectadas, materialidad y estado, además se complementará con antecedentes adicionales como el rol, avalúo fiscal y a partir de precios de venta levantados, se entregará un valor comercial de cada predio afectado.

## **9.2.8 Estructuras**

Una vez producida la planimetría, se deberá visitar el terreno con el fin de identificar las estructuras existentes.

### **9.2.8.1 Cobertura**

La información básica relativa a estructuras en las vías involucradas se debe obtener a partir de una inspección visual en terreno, cubriendo todos los elementos existentes (puentes, muros, desniveles, etc.) en la plataforma vial de proyecto.

### **9.2.8.2 Niveles de detalle**

Se consideran dos etapas de recolección de información: la primera corresponde al nivel necesario para revisar eventuales afecciones en la etapa de prediseño, consistentes principalmente en dimensiones de sus componentes, gálibos, materialidad, estado de conservación y de funcionalidad general.

La segunda considera la complementación de dichos antecedentes hasta el nivel requerido para desarrollar los anteproyectos, a través del desarrollo de monografías específicas de cada estructura, conteniendo las dimensiones de todos los elementos, describiendo los materiales que las constituyen, y su estado de conservación.

Conocida la posible afección indicada en el desarrollo de prediseños, la monografía se orienta a obtener los antecedentes necesarios para asegurar que la solución considerada sea factible técnica y económicamente. Este análisis debe ir acompañado de las recomendaciones de un especialista.

Para las estructuras que requieran una representación mayor a la que se puede apreciar en planos de planta y secciones, la monografía se representa en una ficha específica, complementando los antecedentes indicados con fotografías recientes.

### 9.2.9 Obras especiales

Cualquier elemento adicional a los indicados en los acápite anteriores que pueda condicionar el análisis de alternativas e incluso ser afectado por alguna de las soluciones analizadas, debe ser ubicado en planta, identificando sus dimensiones principales, materialidad y estado de conservación, indicando también sus cualidades funcionales.

En el caso que el anteproyecto afecte a esta obra, se realiza un catastro más preciso, generando fichas especializadas que permitan determinar el tipo y costos de las afecciones o reposiciones necesarias para la implementación de la solución definitiva.

### 9.2.10 Estudios de precios

Desde el inicio de los análisis de soluciones se revisarán precios unitarios de partidas viales urbanas representativas del sector intervenido, para lo que se generará un cuadro con itemizado y precios unitarios de partidas y obras que conforman un proyecto de vialidad urbana.

En la medida que se avanza con el desarrollo del proyecto, se complementa este listado, de tal manera que en la cuantificación del anteproyecto exista una base de precios unitarios que cubra cada una de las obras involucradas.

La fuente para el levantamiento de esta información, está basada principalmente en estudios previos y obras recientes realizados en el sector de proyecto, además del resultado que se obtenga de consulta a organismos e instituciones nacionales y locales.

## Sección 9.3 Estudios de base urbano-ambientales

En el siguiente capítulo se muestran algunas metodologías y ejemplos de reporte, propios de la etapa de recopilación y levantamiento de información de los estudios de base urbano-ambientales.

La información se agrupa de acuerdo a siete categorías de antecedentes y debe ser recopilada en relación a la fase en que se encuentra el proyecto y a la escala de sus impactos esperados. La información se debe analizar y reportar en atención a aquellos aspectos de cada categoría que puedan constituir condicionantes para el proyecto.

Los estudios deben reportarse mediante documentos y planos que incluyan el formato más adecuado a la categoría de información que se reporta; catastros, fichas, fotos, esquemas, cuadros, tablas, u otro medio, y deben incorporarse a la base planimétrica disponible, topografía, fotografía aérea o fotografía satelital, dependiendo de la fase en que se encuentra el proyecto.

En los acápites siguientes se describen los antecedentes recomendados para cada una de las siete categorías, según la etapa del ciclo de vida (y fase de análisis) en la que se encuentre el proyecto.

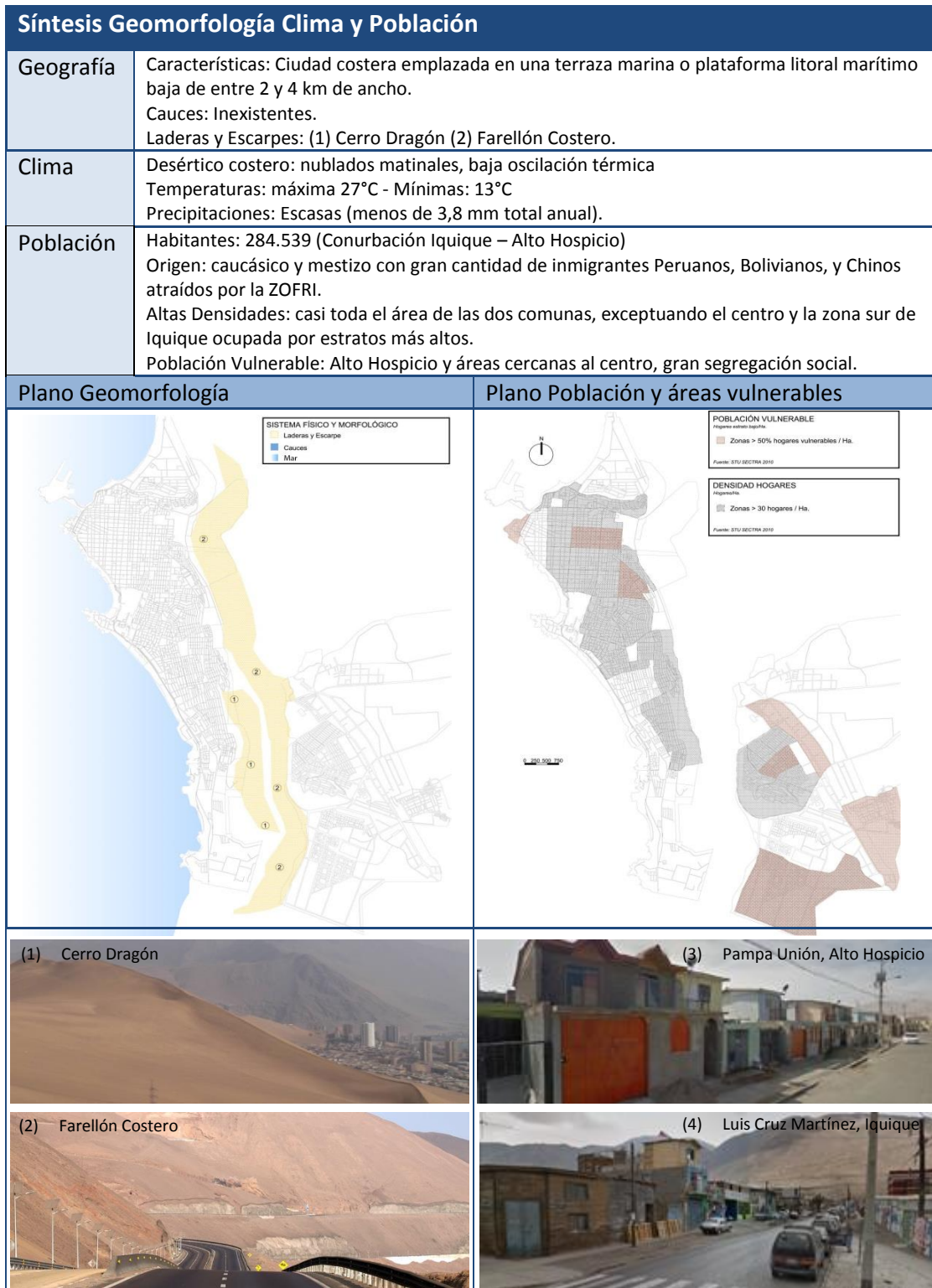
### 9.3.1 Geomorfología, clima y población

En este punto se recopila información relacionada con las características físicas y geográficas del área de estudio, reportando los aspectos más relevantes en relación a la forma del terreno, características climáticas, cauces, relieves y áreas de valor natural; como también demográficas y sociales, como el número de habitantes, crecimiento, densidades, población vulnerable y niveles de ingreso, entre otros. Entre las fuentes de información disponibles para la obtención de datos correspondientes a esta categoría se pueden mencionar: el Instituto Nacional de Estadísticas, las Direcciones de Desarrollo Comunal de las Municipalidades, los mapas de vulnerabilidad del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, las encuestas Origen-Destino, etc.

La información se deberá recopilar mediante visitas a terreno, entrevistas, análisis de material censal y revisión de estudios disponibles, y se deberá reportar mediante la utilización de fichas, cuadros y planos temáticos respectivos.

A modo de ejemplo se presenta en la Figura 9.3.1-1, una síntesis de aspectos geomorfológicos y de población para la ciudad de Iquique con un nivel de análisis general, asociado a un análisis de perfil, que incluye toda el área urbana de la ciudad.

Figura 9.3.1-1  
Ejemplo de categoría Geomorfología, Clima y Población  
Nivel de análisis: Perfil



## 9.3.2 Aspectos legales, normativos y de planificación territorial

El objetivo de este punto es recopilar información legal y normativa, principalmente en relación a los instrumentos de planificación territorial vigentes y en estudio, con la finalidad de dar cuenta de las restricciones de este tipo que puedan afectar al proyecto. La información a recopilar depende de la fase de estudio en la que se encuentra el proyecto.

Para el prediseño se reportan aspectos generales de la normativa como límite urbano, áreas de riesgo, categorías de vía (troncal y expresa) existentes o proyectadas y regulación de áreas verdes, espacio público, parques o zonas de preservación natural. También el ancho de faja oficial, identificando y graficando comunas involucradas, zonas normativas, usos permitidos, líneas de edificación.

Para el anteproyecto se recomienda incluir alturas permitidas, rasantes, antejardines y cualquier otro índice o coeficiente que pueda ser relevante para el desarrollo del proyecto, mediante fichas de resumen normativo que permitan el análisis y descripción de los espacios que enfrentan al eje en estudio. En este caso, se recomienda complementar la determinación de la ubicación de la línea oficial mediante la utilización de certificado de informes previos (CIP) de sectores representativos y singulares.

La información se deberá recopilar mediante entrevistas con profesionales de la municipalidad, análisis de material normativo y planimetría disponible y se deberá reportar por tramo o zona de análisis, mediante la utilización de fichas y planos, además de los perfiles tipo indicando las líneas y fajas respectivas.

En la Figura 9.3.2-1 y en la Figura 9.3.2-2 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran ejemplos de la información normativa, que debe elaborarse para los niveles de perfil y diseño, respectivamente.

Figura 9.3.2-1

Ejemplo de categoría Aspectos Legales, Normativos y de Planificación Territorial  
 Nivel de análisis: Perfil

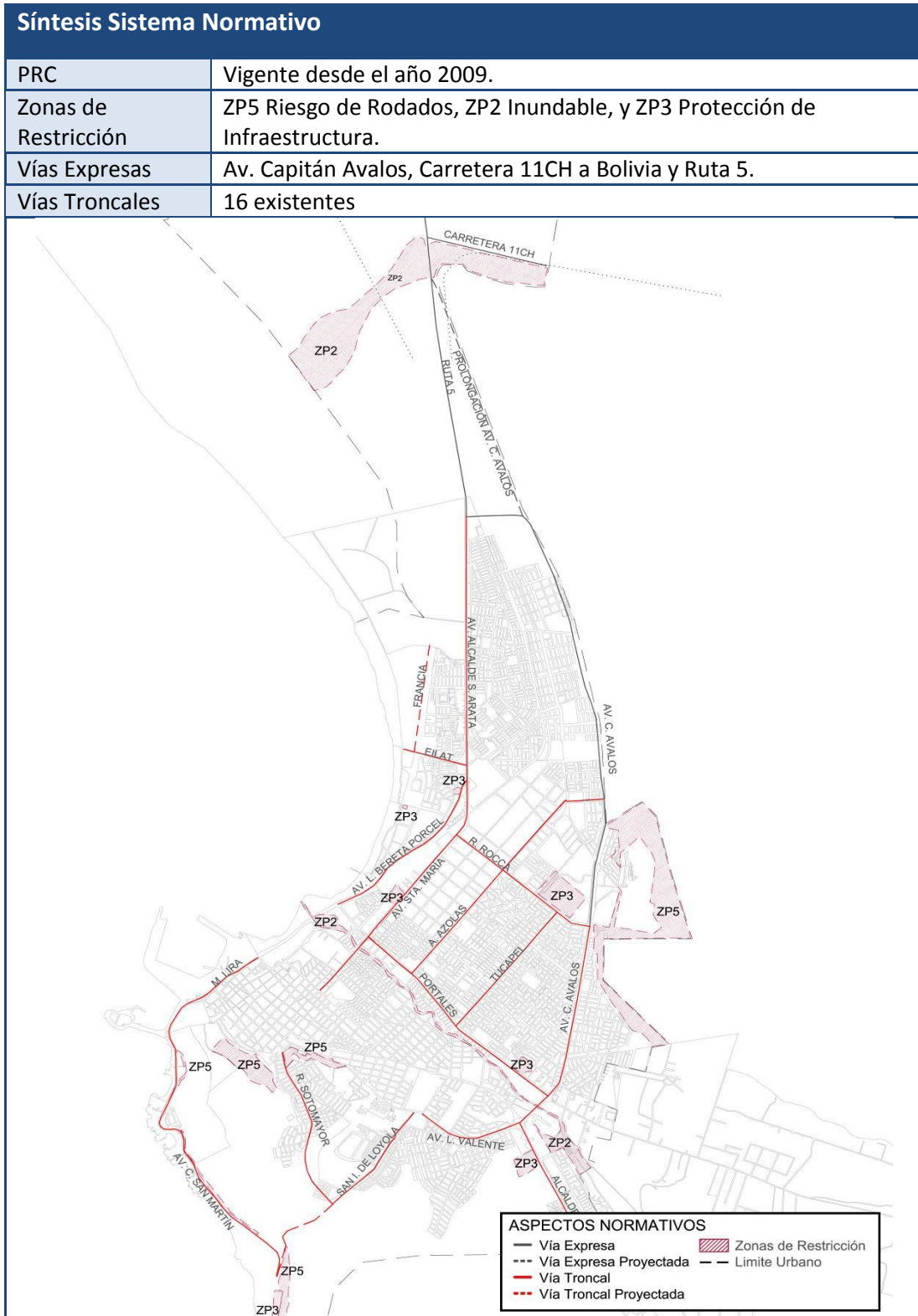
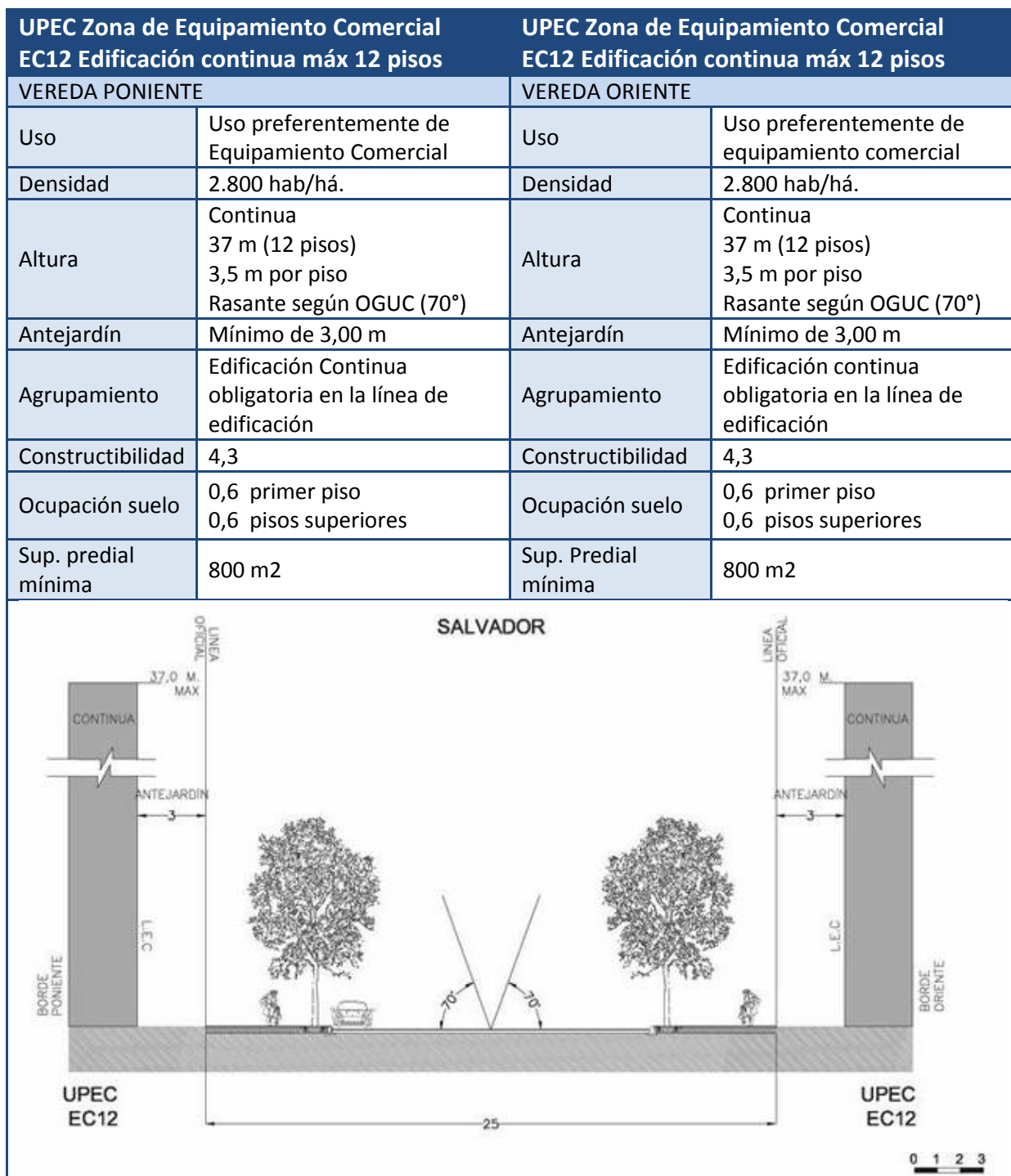


Figura 9.3.2-2

Ejemplo de categoría Aspectos Legales, Normativos y de Planificación Territorial

Nivel de análisis: Diseño



### 9.3.3 Urbanización, Subdivisión Predial, Edificación e Infraestructura urbana

En este apartado se reportan los elementos morfológicos del área de estudio desde el punto de vista urbano, en atención a identificar infraestructuras, edificación o elementos de la urbanización que pudieran condicionar la definición del proyecto. En esta categoría pueden identificarse, para niveles de análisis de perfil y prediseño, por ejemplo, vías férreas, infraestructura eléctrica, etc. Para niveles más avanzados de análisis conviene recoger información sobre la trama urbana y su consolidación, y sobre la morfología edificatoria.

La información para los estudios de base de esta categoría se deberá recopilar mediante visitas a terreno, entrevistas, análisis de material planimétrico y aéreo fotogramétrico entre otros, y se deberá reportar por tramo o zona de análisis y mediante la utilización de fichas, fotografías y planos temáticos, etc.

En la Figura 9.3.3-1 y la Figura 9.3.3-2 se muestran ejemplos de reportes de información sobre esta categoría, para los niveles de detalle de prediseño y anteproyecto, respectivamente.

Figura 9.3.3-1

Ejemplo de categoría Urbanización, Edificación e Infraestructura Urbana  
Nivel de análisis: Prediseño

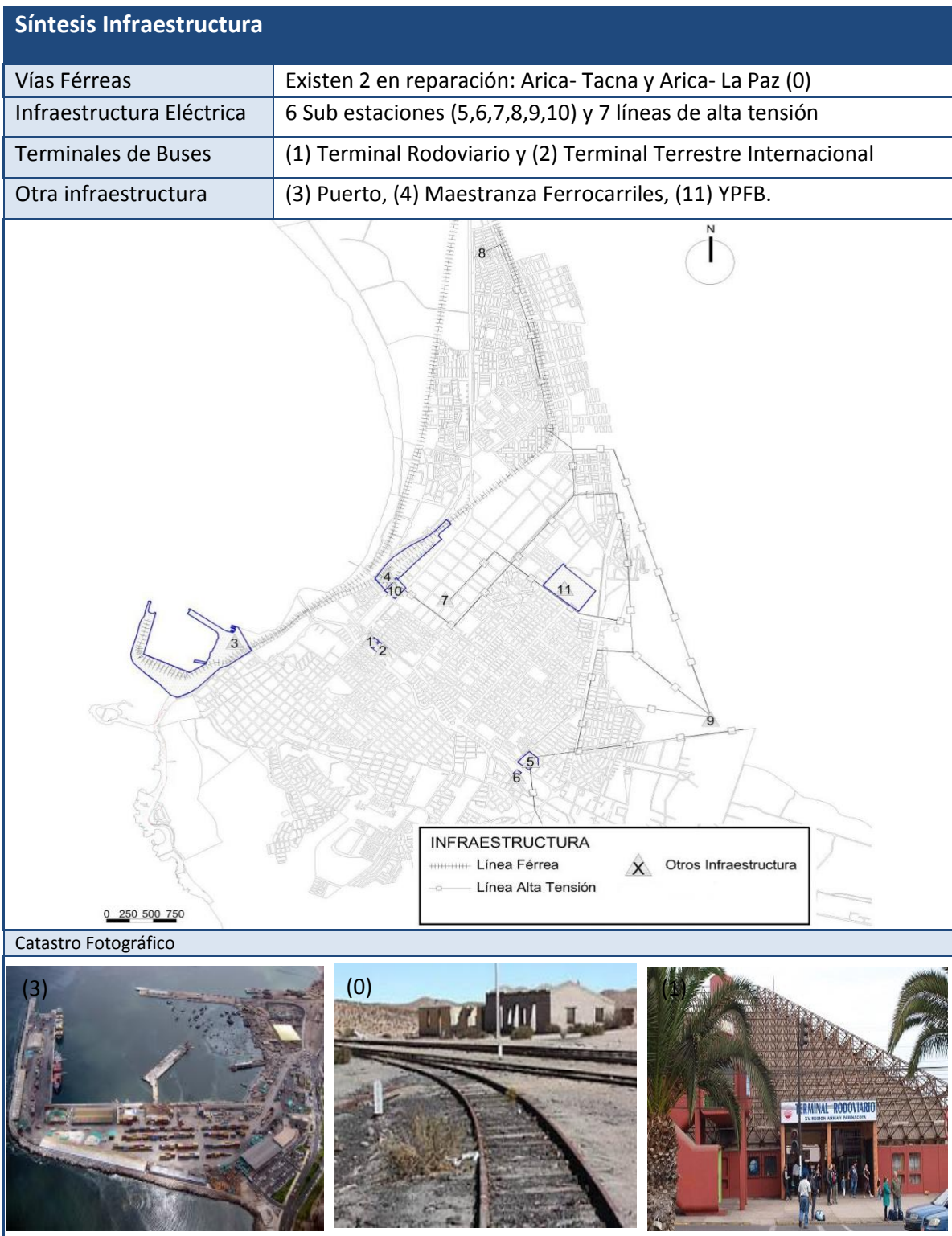


Figura 9.3.3-2  
Ejemplo de categoría Urbanización, Edificación e Infraestructura Urbana  
Nivel de análisis: Anteproyecto



## 9.3.4 Espacios públicos, áreas verdes y entorno ambiental

Los antecedentes de espacios públicos y áreas verdes como: plazas, parques y paseos peatonales, entre otros, se deben reportar en relación con sus componentes (fajas, definición de áreas), características (mobiliario, iluminación, riego, uso) y grados de consolidación, conservación y mantenimiento. Lo anterior, debe recopilarse según la etapa y nivel de precisión del diseño en que se encuentre el proyecto.

Para prediseño, se identifican áreas verdes y espacios públicos, indicando su área de influencia, y grado de consolidación, determinando la existencia de masas arbóreas y ejes arbolados.

Para la elaboración del anteproyecto, se clasifican las áreas verdes de acuerdo a su estado de consolidación, acompañado este análisis de un catastro fotográfico. También se caracterizan las aceras en cuanto a su ancho total y continuidad, y se identifican las especies arbóreas que puedan constituir condicionantes para el proyecto.

Para diseño, se realiza un catastro individualizado de especies vegetales con topografía del lugar indicando tamaño, tipo, edad, estado de conservación y otros antecedentes que puedan resultar relevantes. También se determina el estándar de aceras, composición, elementos, variedad y dimensiones de fajas, se identifica el mobiliario urbano, y las zonas de juego, paso y descanso.

La información debe recopilarse mediante visitas a terreno, análisis de material fotográfico, fichas, catastros y documentos disponibles y se debe reportar por tramo o zona de análisis mediante la utilización de fichas, fotografías y planos temáticos.

En la Figura 9.3.4-1 y la Figura 9.3.4-2 se encuentran ejemplos de análisis para esta categoría, para los niveles de prediseño y diseño, respectivamente.

Figura 9.3.4-1  
Ejemplo de categoría Espacios Públicos, Áreas Verdes y Entorno Ambiental  
Nivel de análisis: Prediseño

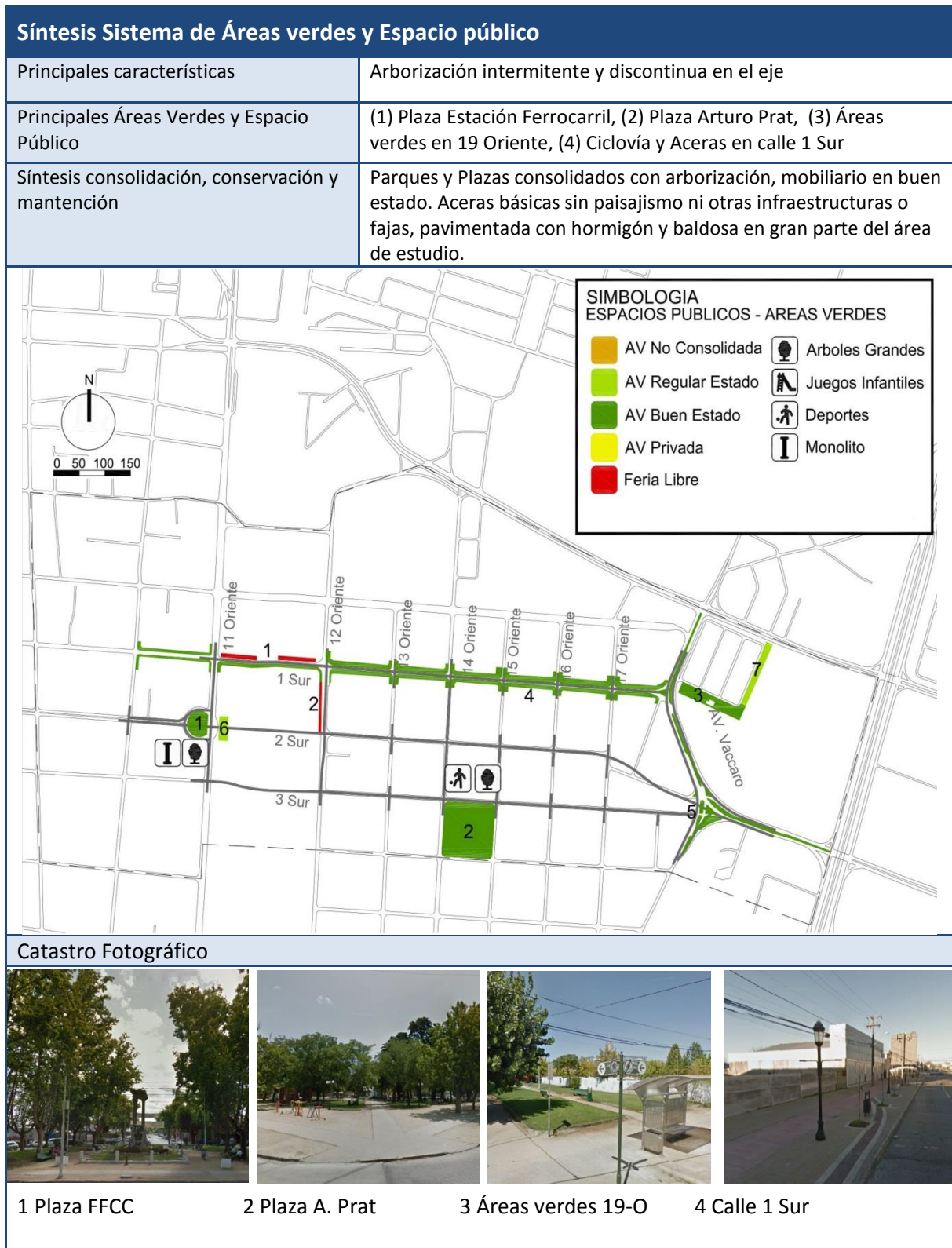
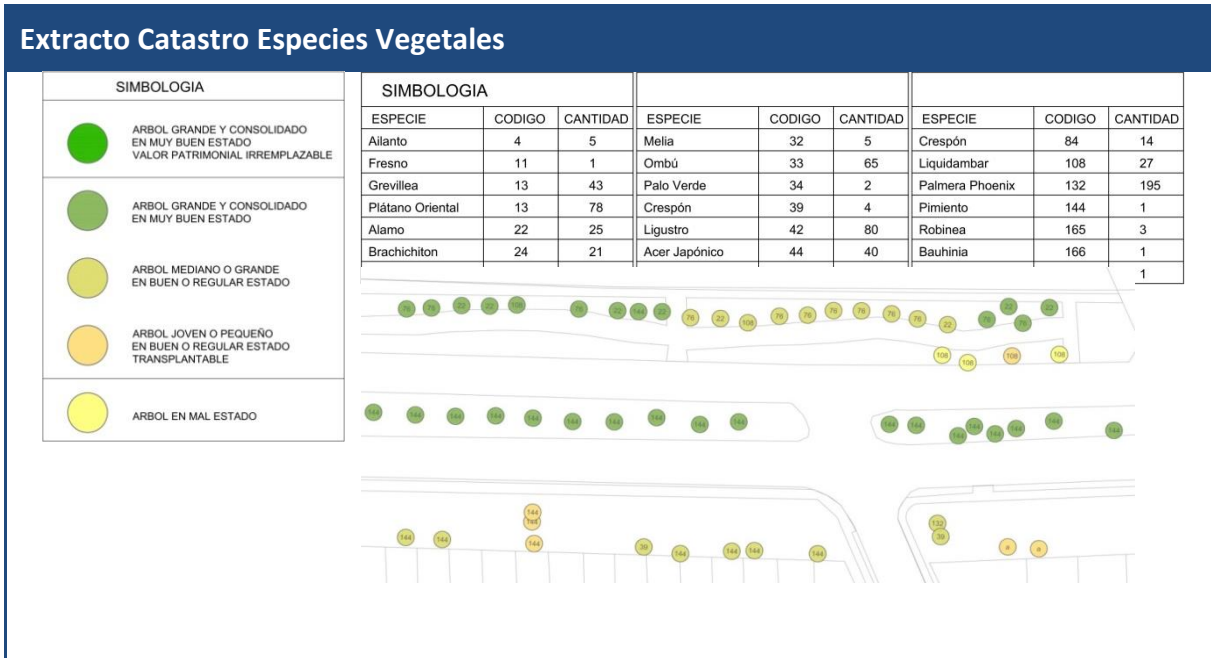


Figura 9.3.4-2

Ejemplo de categoría Espacios Públicos, Áreas Verdes y Entorno Ambiental

Nivel de análisis: Diseño



### 9.3.5 Elementos patrimoniales y de significado

Se identifican y caracterizan los elementos patrimoniales relevantes como: edificios, monumentos, paseos, vistas, paisajes y elementos de interés histórico y patrimonial, como también los elementos o espacios de significado como nodos, hitos, barreras y vistas, presentes en la memoria colectiva de la comunidad. La recopilación debe considerar la etapa y nivel de precisión del diseño en que se encuentre el proyecto.

Para prediseño, se reconocen los principales elementos de valor patrimonial presentes en el área de influencia, lo que supone identificar todos aquellos elementos (barrios patrimoniales o zonas típicas, inmuebles de conservación histórica, monumentos nacionales e históricos y cualquier otro relevante definido según el Consejo de Monumentos Nacionales o que suponga interés para la comunidad y los instrumentos de planificación territorial.

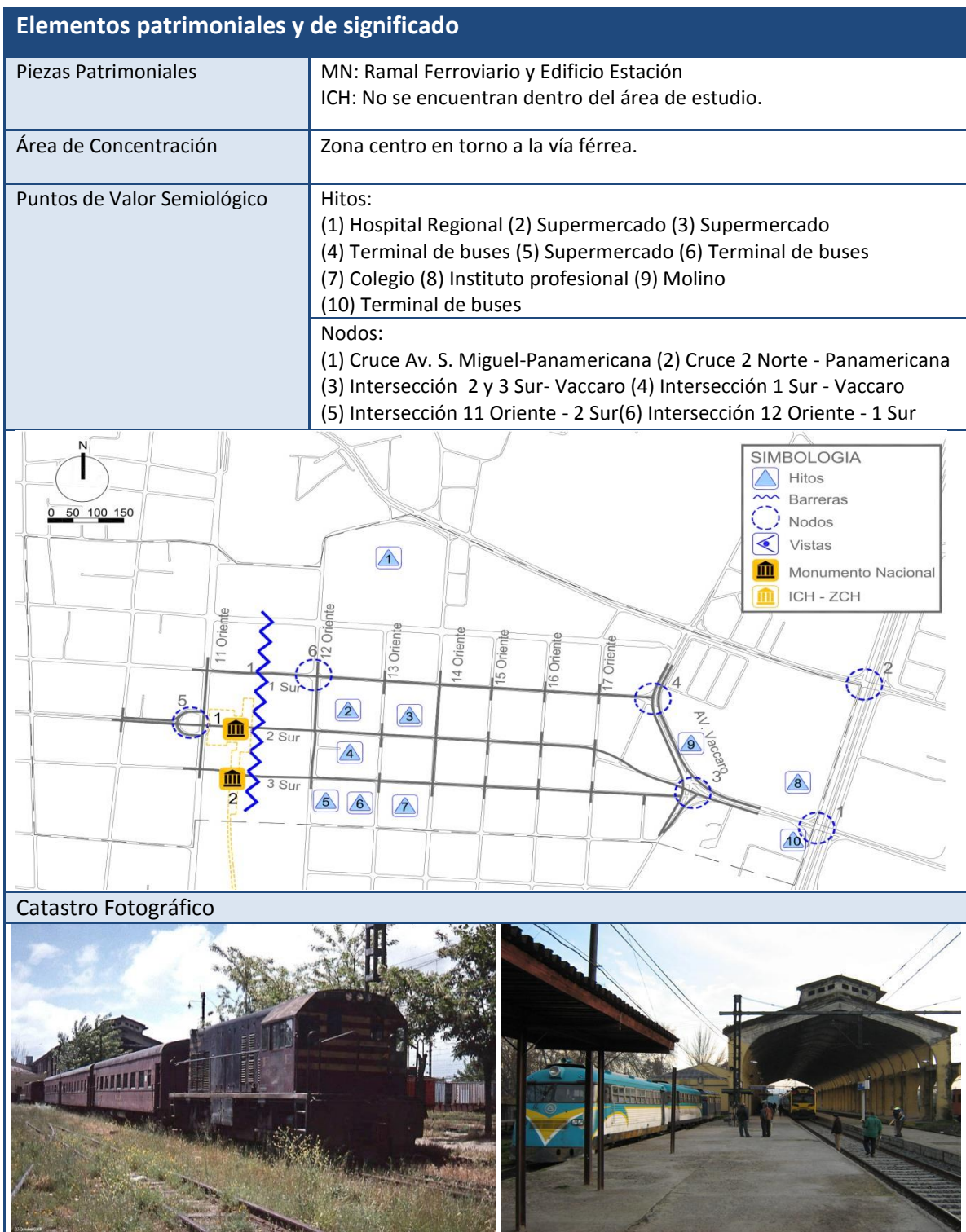
Para el anteproyecto, se identifican aquellos elementos de valor semiológico asociados al eje, los que pueden ser: nodos (conectan y articulan distintos flujos), hitos (ocurrencias singulares que establecen puntos de referencia como parques, elementos del espacio público o edificios notables), barreras (elementos que actúan como frontera entre dos distritos como una vía férrea, desniveles considerables del terreno natural o construido, autopistas o elementos geomorfológicos) y vistas (puntos que ofrecen un ángulo de observación de interés paisajístico o de orientación).

A continuación se muestra a modo de ejemplo una ficha que muestra antecedentes recopilados sobre la categoría de elementos patrimoniales y de significado, para el nivel de análisis de prediseño.

Tabla 9.3.5-1

Ejemplo de categoría Espacios Públicos, Áreas Verdes y Entorno Ambiental

Nivel de análisis: Prediseño



### 9.3.6 Actividades, usos y costumbres

En este apartado se elabora una síntesis de los usos de suelo en el área de influencia, lo que permite obtener un panorama general de los usos, tanto en relación a la distribución de actividades de los recintos privados como a los usos esporádicos del espacio público (ferias itinerantes, desfiles, procesiones o carnavales), con el objetivo de identificar zonas de alta demanda y requerimientos de estos usos hacia los bordes. Los resultados se pueden graficar en un plano de usos permanentes y esporádicos a nivel de manzana o predio, pudiendo además incorporarse un registro fotográfico.

La recopilación de estos antecedentes se realiza en función de la etapa y nivel de precisión del diseño en que se encuentre el proyecto.

Para el prediseño se describe el sistema de actividades y su distribución en el territorio: la mezcla de usos y sus niveles de especialización, los rasgos generales de la economía local, predominancia de usos y localización de áreas de concentración de comercio, servicios y otros equipamientos que puedan suponer mayores volúmenes de flujo.

Para el anteproyecto se recoge información de usos de suelo o actividades a nivel predial o de manzanas, información que se puede obtener de distintas fuentes (base de datos de SII, base de permisos de la DOM, base de patentes municipales u otras) y directamente mediante inspección visual en terreno o entrevista a actores locales. En este caso no sólo interesa la localización sino también la magnitud del uso o actividad, lo que se debe reportar mediante superficie construida, superficie ocupada y flujo peatonal estimado.

Adicionalmente es deseable tener en cuenta la existencia de proyectos programados, como futuros estadios, iglesias, colegios, hospitales, supermercados y centros comerciales, entre otros, todos los cuales contribuyen a estimar las exigencias que cada uso o actividad imponen sobre el proyecto. Esto busca incorporar tales exigencias durante la etapa de diseño (mejorando el estándar de aceras, pavimentación, ensanche de fajas de caminata, mejoramiento de iluminación o visibilidad, señalización y facilidades en cruces, accesos y conexión con el transporte público, entre otros).

La información en relación a actividades, usos y costumbres, se recopila mediante visitas a terreno, entrevistas, análisis de material fotográfico y documental disponible y se reporta mediante fichas, fotografías y planos temáticos.

Tabla 9.3.6-1

Ejemplo de categoría Actividades, Usos y Costumbres  
 Nivel de análisis: Prediseño



### 9.3.7 Seguridad peatonal

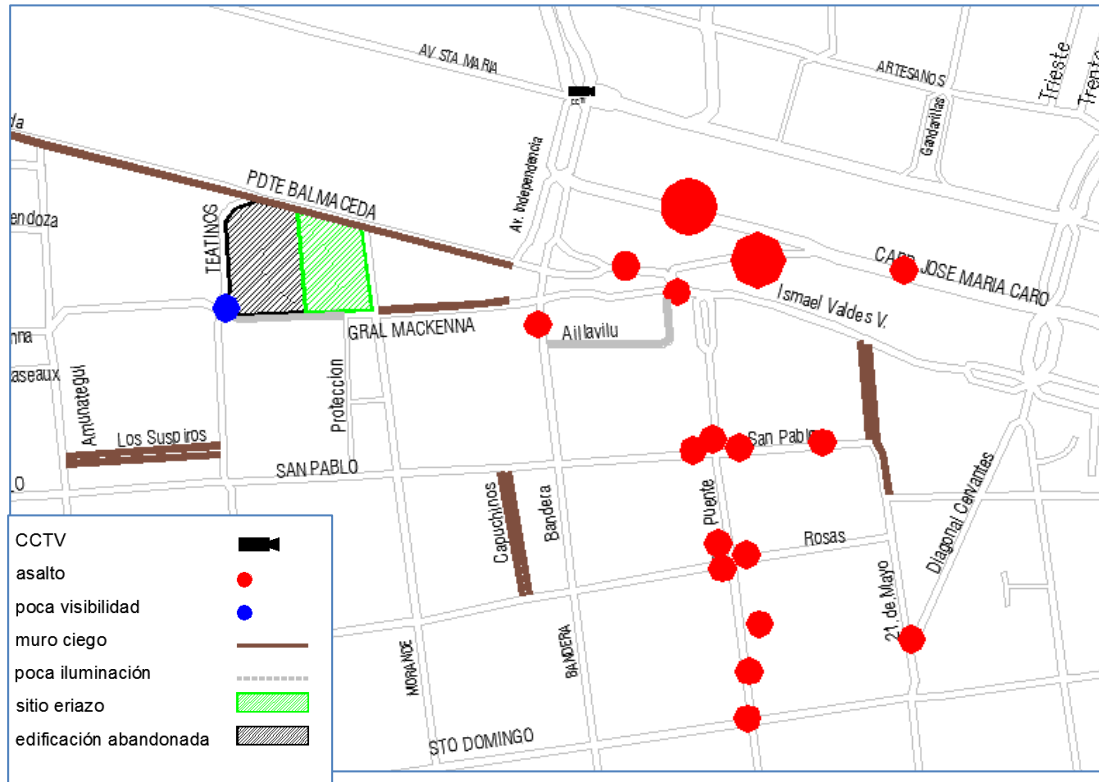
En este apartado interesa recopilar y reportar información sobre las condiciones de seguridad de los desplazamientos peatonales.

Dentro de este análisis deberá incorporarse información referente a los siguientes puntos:

- Iluminación artificial: Niveles de iluminación de los distintos tramos peatonales.
- Control visual del espacio peatonal: Se recomienda catastrar los elementos que limitan el campo visual de los peatones, tales como muros, vegetación, kioscos, mobiliario, etc.
- Conformación de los bordes del espacio peatonal: Verificar la existencia de muros ciegos, sitios eriazos, edificaciones abandonadas o de usos esporádicos, desniveles que impidan el libre desplazamiento peatonal.
- Puntos conflictivos: Se recomienda elaborar un catastro asociado a actos delictivos ocurridos a peatones mediante la información oficial de los organismos competentes.
- Dispositivos de seguridad: Identificar la localización de cámaras de vigilancia, casetas de seguridad, etc.

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de recopilación de información sobre seguridad peatonal.

Figura 9.3.7-1  
Ejemplo de análisis de seguridad peatonal  
Nivel de análisis: Prediseño



## Capítulo 10 Modelación

### Sección 10.1 Introducción

Los enfoques de modelación tratados en el presente manual se orientan a resolver aspectos operacionales de las soluciones, a nivel de flujos fijos o asignación de viajes, considerando que los proyectos no generan impactos a nivel de generación-atracción, distribución y partición modal, los que son tratados en forma exógena y afectan tanto a la situación base como al proyecto.

En contraste, los modelos de planificación estratégica pueden responder las preguntas relacionadas con la generación de viajes, elección del destino, elección de modo, elección del horario de viaje y la elección de ruta, pero son insuficientes cuando se debe responder preguntas relacionadas con la operación de las intersecciones y, en este sentido, surge el interés de integrar ambos enfoques.

### Sección 10.2 Construcción del modelo

#### 10.2.1 Topología

Sobre la base de los antecedentes obtenidos en los catastros se representa la red en términos topológicos, incorporando tantos nodos, arcos y líneas de detención, como se requieran para representar adecuadamente los fenómenos de tránsito en el área de estudio.

Los nodos representan intersecciones o cruces (semafóricos o de prioridad). Cuando se requiera, también podrán representar irregularidades o cambios en las características geométricas u operativas de las vías (como por ejemplo, cruces peatonales, paraderos de transporte público, cuellos de botella o variaciones de rugosidad de la vía, entre otros). En el caso de las intersecciones semaforizadas, se deben incorporar las características operativas que serán obtenidas a partir de los catastros, o bien, definidas como parte del diseño operacional de las intersecciones. Entre dichas características, se destacan principalmente: el diseño de fases, los verdes mínimos, los entreverdes, los retardos iniciales y finales.

Por su parte, los arcos estarán destinados a representar la vialidad por la que circulan las distintas corrientes vehiculares que ingresan e interactúan en los nodos y que se caracterizan principalmente por un volumen de flujo y una velocidad media de circulación.

Las principales variables que caracterizan a los elementos de las redes para los modelos mesoscópicos son la longitud de los arcos, la velocidad a flujo libre, y las capacidades de las pistas asociadas a cada movimiento permitido. Los modelos microscópicos requieren datos como la representación geométrica precisa de la vialidad y los elementos constitutivos del espacio vial, y los parámetros de comportamiento de los conductores.

## 10.2.2 Métodos de elección de ruta

### 10.2.2.1 Supuestos de conducta

Para la asignación de viajes a la red de transporte, es necesario suponer un mecanismo de comportamiento para los usuarios de esta. Los métodos más usados corresponden al equilibrio de usuario, que supone que los usuarios buscan escogen la ruta de tiempo mínimo de viaje, y el equilibrio estocástico de usuario, que supone que buscan la ruta de menor tiempo percibido, definido como el real más una componente aleatoria asociada a la variabilidad en la percepción. Los algoritmos de solución para ambos tipos de equilibrio se encuentran implementados directamente o a través de macros en las herramientas de modelación de transporte generalmente utilizadas.

En el contexto nacional, el tradicionalmente usado es el equilibrio de usuario. En algunos casos, en los que la modelación con este criterio muestra que determinadas rutas que resultaron importantes en conteos se ven subutilizadas, puede proponerse el uso del equilibrio estocástico de usuario, lo que deberá ser ponderado y justificado adecuadamente por el analista.

Los algoritmos de solución para el equilibrio de usuario estocástico convergen más lentamente que los algoritmos asociados a equilibrio de usuario. La diferencia se acentúa a medida que se modelan redes más congestionadas (además, la componente aleatoria del tiempo de viaje pierde importancia respecto de la determinística, lo que hace que ambas asignaciones se parezcan), por lo que se desaconseja el uso del equilibrio de usuario estocástico en estos casos.

### 10.2.2.2 Valor del tiempo

Si existen arcos tarifcados en la red, los usuarios no se asignarán considerando únicamente el tiempo (real o percibido) de viaje, sino que de acuerdo al costo generalizado de viaje, variable que incluirá también el costo monetario de las distintas rutas disponibles. Es por ello que en redes tarifcadas es fundamental disponer de una medida de la disposición a pagar de los usuarios por ahorrar tiempo de viaje. Estos antecedentes son obtenidos tradicionalmente a partir de datos preferencias reveladas (elecciones reales) y declaradas (juicios declarados), a partir de los cuales se estiman modelos de elección discreta empleando técnicas de máxima verosimilitud.

Alternativamente, es posible recurrir a antecedentes obtenidos de estudios anteriores, los que deben ser adaptados al contexto de modelación.

### 10.2.3 Factores de equivalencia

La conversión de flujos de distintos tipos de vehículo a veq, se realiza mediante la utilización de factores de equivalencia. Se recomienda el uso de los siguientes factores:

Categoría	Factor (veq/veh)
Automóvil	1,0
Taxi	1,0
Taxibús (aprox. 8 m)	1,65
Bus (aprox. 12 m)	2,0
Bus articulado (aprox. 18 m)	3,0
Camión 2 ejes	2,0
Camión más de 2 ejes	2,5
Bicicletas	0,3
Motocicletas	0,5

### 10.2.4 Flujos de saturación

El cálculo del flujo de saturación base y las correcciones asociadas a tráfico mixto, tipo de movimiento, características geométricas y paraderos de transporte público, entre otros, se encuentran en el Manual de Programación y Modelación de Semáforos. A continuación se indica el procedimiento para la corrección por interferencia de peatones.

#### 10.2.4.1 Interferencia de los peatones en el cálculo de capacidad

En el cálculo de capacidades es posible representar el efecto de distintos fenómenos asociados a la geometría (anchos de pistas, pendientes, radios de giro), a las condiciones de tráfico (paradas de buses, estacionamientos y peatones, entre otros) y a las condiciones de operación de los cruces (diseño de fases, viajes con o sin oposición, entre otros). Sin embargo, para una mejor representación de algunos fenómenos pueden ser consultadas otras referencias, como por ejemplo, cuando se requiere rescatar el efecto de la interferencia de peatones en el cálculo de las capacidades, se recomienda recurrir a la propuesta metodológica entregada por Tian y Xu (2006), cuyo tratamiento se desarrolla a continuación.

Para rescatar el efecto de la interferencia de peatones en el cálculo de las capacidades, se formula el siguiente modelo:

$$C_m = P_{0,m}C_{1,m} + P_m C_{2,m} = P_{0,m}C_{1,m} + (1 - P_{0,m})C_{2,m} \quad 10.2.4-1$$

Donde  $C_m$  es la capacidad final del movimiento  $m$  (un viraje) considerando el efecto de los peatones;  $C_{1,m}$  es la capacidad sin interferencia de peatones (que puede ser obtenida mediante métodos tradicionales);  $C_{2,m}$  es la capacidad con interferencia de peatones<sup>3</sup>;  $P_{0,m}$  es la probabilidad de que no lleguen peatones al cruce (o bien la proporción del ciclo del semáforo en que no llegan peatones al cruce); y, finalmente,  $p_m$  es la probabilidad de que lleguen peatones al cruce (o bien la proporción del ciclo del semáforo en que llegan peatones al cruce).

Asumiendo que la llegada de peatones a la intersección se comporta como una variable aleatoria que sigue una distribución exponencial negativa y que  $x$  es la variable aleatoria que representa el número de peatones que llega al cruce durante el ciclo. Entonces el número promedio de peatones que llega al cruce en un ciclo,  $\lambda_m$ , puede ser calculada según la siguiente expresión:

$$\lambda_m = \frac{V_{p,m}}{3600} C \quad 10.2.4-2$$

Donde  $V_{p,m}$  es el flujo de peatones que interfiere en el movimiento vehicular  $m$  y  $C$  es el tiempo de ciclo. Entonces, la probabilidad de tener un número  $x$  de peatones en el cruce está dada por la siguiente expresión:

$$P'_{x,m} = \frac{\lambda_m^x \cdot e^{-\lambda_m}}{x!} \quad 10.2.4-3$$

A partir de lo anterior, las probabilidades de que no llegue ningún peatón y de que llegue al menos un peatón al cruce quedan dadas por:

$$P_{0,m} = \frac{\lambda_m^0 \cdot e^{-\lambda_m}}{0!} = e^{-\lambda_m} \quad ; \quad P_m = 1 - P_{0,m} = 1 - e^{-\lambda_m} \quad 10.2.4-4$$

En el caso que existieran dos entradas peatonales (como en la mayoría de los casos), los cálculos serían los siguientes:

---

<sup>3</sup> Que puede ser calculada mediante un modelo de brechas o, mediante simplificaciones, considerando por ejemplo que si el flujo de peatones es bajo, entonces su efecto también será bajo (caso en que esta capacidad sería cercana a la anterior) y, por el contrario, si el flujo de peatones es alto, entonces, su efecto también lo será (caso en que esta capacidad sería cercana a cero).

$$P_{0,m} = 1 - P_m = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)} \quad 10.2.4-5$$

$$P_m = 1 - \prod_{m-1}^2 P_{0,m} = 1 - (e^{-\lambda_1} \cdot e^{-\lambda_2}) = 1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)} \quad 10.2.4-6$$

## Sección 10.3 Consideraciones generales en la modelación

### 10.3.1 Interacción entre tipos de modelos

Los modelos de simulación macro, meso y microscópicos, son herramientas complejas en términos de los requerimientos de información, las salidas, el tipo de aplicaciones, los supuestos, las metodologías y de sus características en general. Por lo tanto, es importante comprender sus diferencias, fortalezas y limitaciones, para definir posteriormente las necesidades de integración.

Desde una óptica general, los modelos de simulación macroscópica básicamente consideran un proceso sistemático con formulaciones matemáticas y una serie de simplificaciones dirigidas a proyectar los volúmenes de viajes y su asignación en la red vial, de tal manera de predecir los patrones de viajes asociados a una oferta de infraestructura dada. Los modelos así desarrollados proporcionan una visión agregada del sistema de transporte. En efecto, con dichas herramientas, la representación de la congestión es simplificada, y no se pueden dimensionar los impactos de cambios en el sistema de gestión del tráfico. Para análisis de tipo operacional, el nivel de detalle que pueden proporcionar estos modelos es bajo.

Por su parte, los modelos de simulación microscópicos consideran las características de los vehículos individuales y simulan las interacciones de los vehículos en el tráfico basados en teorías tales como la de seguimiento vehicular y la de cambios de pista. Dada la demanda, estos modelos pueden proporcionar una visión dinámica de los cambios en el sistema de transporte, incluyendo bloqueos y la evolución y disipación de colas. En este sentido, estos modelos son más eficaces para analizar la evolución dinámica de los fenómenos de congestión y para las estrategias de control y diseño de tráfico.

Dependiendo de los propósitos de cada análisis y de la complejidad que implican, los modelos de simulación macroscópica y microscópica pueden ser preferidos uno sobre el otro. Los modelos macroscópicos normalmente son necesarios en instancias iniciales para modelar la demanda de viajes y como insumo para otras herramientas de mayor detalle. Los modelos de simulación microscópica normalmente se utilizan para el diseño de alternativas en la prefactibilidad.

Dentro de este contexto, los modelos meso o microscópicos pueden desarrollarse en forma complementaria a los modelos macroscópicos, integrándolos para satisfacer las necesidades de planificación y diseño de largo plazo, dentro de lo cual es deseable el uso de métodos eficientes para el intercambio de datos, desde un nivel a otro. Sin embargo, para el éxito de un proceso integrado, es importante mantener la coherencia entre un análisis y otro, en términos de la entrada de datos, y las hipótesis clave consideradas.

Es evidente que los modelos macroscópicos pueden ser una fuente de datos importantes para el desarrollo de los modelos meso y microscópicos, particularmente en términos de la información de demanda.

Por otro lado, los modelos macroscópicos también pueden beneficiarse por la vinculación con los modelos meso y microscópicos. Algunos supuestos claves y datos de entrada en el modelo macroscópico pueden ajustarse con los resultados de simulación meso o microscópica. En los modelos de simulación microscópica, por ejemplo, la capacidad es una medida que depende de la geometría de la vía, la composición de tráfico, comportamientos de vehículos y control de tráfico, entre otros aspectos. Por lo tanto, los supuestos de capacidad a nivel macroscópico pueden ser ajustados con los resultados obtenidos a nivel microscópico. De esta manera, mediante un algoritmo de retroalimentación, el modelo macroscópico puede ser modificado a partir de los resultados y observaciones del modelo microscópico.

### 10.3.2 Algoritmos de asignación

En general, las herramientas de modelación de transporte más utilizadas resuelven el problema de equilibrio de usuario por medio del algoritmo de Frank-Wolfe (también llamado de combinaciones convexas). Este consiste en un algoritmo iterativo que busca direcciones de descenso y largos de paso a partir de los niveles de servicio resultantes de sucesivas asignaciones a rutas de mínimo costo. De acuerdo a Sheffi (1985), el algoritmo puede resumirse como sigue:

- Paso 0 – Inicialización: realizar una asignación todo o nada basada en los niveles de servicio a flujo libre. Con esto se obtiene el patrón de flujos  $\{x_a^1\}$ . Iniciar el contador de iteraciones  $n := 1$ .
- Paso 1 – Actualización: Calcular los costos en arcos  $t_a$  basados en el último patrón de flujos. Se obtienen  $t_a^n = t_a(x_a^n)$ .
- Paso 2 – Dirección de descenso: Asignar todo o nada basándose en los últimos costos  $\{t_a^n\}$  calculados. Se obtiene un patrón de flujos  $\{y_a^n\}$ .
- Paso 3 – Largo de paso: Encontrar  $\alpha_n \in [0,1]$  que minimice  $\sum_a \int_0^{x_a^n + \alpha(y_a^n - x_a^n)} t_a(s) ds$ .

- Paso 4 – Moverse: Definir  $x_a^{n+1} = x_a^n + \alpha_n(y_a^n - x_a^n)$ , obteniendo nuevo patrón  $\{x_a^{n+1}\}$ .
- Paso 5 – Verificar convergencia: Si se obtiene convergencia, el último patrón de flujos será la solución de equilibrio. Si no, actualizar  $n$  (contador de iteraciones) y volver a paso 1.

Existen otros algoritmos iterativos que postulan como ventaja el ser de más rápido cálculo que el algoritmo Frank-Wolfe. Por ejemplo, manteniendo la estructura de este último, el elegir un paso ( $\alpha$ ) de largo  $1/n$  resulta en el algoritmo de promedios sucesivos (MSA). Sin embargo, la relativa simpleza del cálculo (al no requerir resolver un problema de optimización en el paso 3) no garantiza rapidez en cuanto al número de iteraciones necesarias para alcanzar la convergencia.

En los últimos años han surgido nuevos algoritmos de asignación, por ejemplo la asignación basada en orígenes (OBA), presentada en Bar-Gera (2002). El uso de este algoritmo en el ámbito nacional es, a la fecha de edición de este manual, todavía experimental.

### 10.3.3 Interacción entre el diseño operacional y la asignación

En redes semaforizadas, la elección de rutas se ve determinada por la programación de los semáforos, pues los tiempos de verde efectivos condicionan los tiempos de viaje en la red. A su vez, la programación de los semáforos usualmente proviene de un proceso de optimización que considera los patrones de flujos en la red. Esta interacción ha sido reconocida en la literatura, y se ha propuesto para resolver esta dependencia mutua el procedimiento llamado Optimización Iterativa de Asignación (IOA).

Este supone descomponer el problema de modelación en dos subprocesos.

- Se optimiza la programación de los semáforos a partir del patrón de flujos proveniente del modelo de asignación.
- Se incluyen explícitamente las demoras causadas por las programaciones en los costos de los arcos de la red del modelo de asignación que correspondan, y se realiza la asignación.

Este proceso secuencial es descrito en detalle en Allsop y Charlesworth (1977).

## Sección 10.4 Calibración de modelos

La calibración consiste en el ajuste de los parámetros de un modelo para reproducir el comportamiento observado. Algunos datos de entrada para la calibración deben ser observados en terreno, como las programaciones, las distancias, los tiempos de viaje, los flujos vehiculares, etc. Otros, especialmente los flujos de saturación, pueden ser estimados o medidos en terreno.

Dada la variabilidad de los flujos vehiculares y las condiciones de operación, el proceso de calibración debe aplicarse a cada período analizado.

Por su parte, la validación es el proceso de comparación de los resultados del modelo con los datos medidos. El propósito de dicha validación, es comprobar que el modelo ha sido calibrado correctamente y, por lo tanto, es capaz de producir predicciones adecuadas para los escenarios de proyecto. En este sentido, los criterios de validación se utilizan para demostrar que los resultados modelados están dentro de una tolerancia aceptable, conforme a datos medidos.

El proceso de calibración determina la precisión de los modelos de tráfico. Los analistas deben considerar las técnicas más adecuadas para lograr la precisión esperada con los modelos.

#### **10.4.1 Modelación de redes sin asignación**

Este caso incluye la modelación de los fenómenos de transporte en intersecciones aisladas, ejes viales o pequeñas redes. En este caso se requiere que las herramientas de modelación construidas permitan replicar las demoras y las longitudes de cola observadas en la situación actual, para un escenario de flujo vehicular. Esto permite contar con una buena estimación de los indicadores de consumo de recursos de la situación actual.

Para ello, se requiere en primer lugar realizar una validación de los conteos de tránsito disponibles, de forma tal de evitar la existencia de errores de medición, codificación o digitación.

Adicionalmente, es preciso realizar una validación de las características físicas y geométricas del área de estudio, de forma tal de asegurar que se encuentra correctamente representada.

En este caso, los parámetros de calibración corresponderán a los siguientes:

- flujos de saturación y capacidades.
- modificaciones menores a la pérdida y la ganancia de verde.
- los parámetros de comportamiento de los vehículos cuando se utilizan modelos de microsimulación.

Por lo tanto, el alcance del proceso de calibración puede variar desde un pequeño ajuste a los flujos de saturación y las programaciones de los semáforos, a cambios más significativos.

Si después de este proceso, se encuentran resultados que el analista juzgue como extraños, se recomienda revisar, al menos, la existencia de las siguientes situaciones:

- Los flujos medidos han sido ingresados en forma incorrecta en el modelo.

- El número de pistas efectivas es distinto al considerado en la modelación.
- Algunos movimientos utilizan un número de pistas distinto al especificado en la modelación.
- El flujo de saturación está mal estimado.
- Las fases y desfases no han sido modelados correctamente.
- El proceso de dispersión no está bien representado.

## 10.4.2 Modelación de redes con asignación

### 10.4.2.1 Calibración de frecuencias de rutas fijas

Una adecuada determinación de la demanda en servicios de rutas fijas (transporte público o camiones) requiere establecer para cada período las frecuencias de operación de todos los servicios.

En este caso se dispone de itinerarios y frecuencias definidos a partir de catastros de rutas y mediciones de flujo vehicular, por lo tanto, el problema de ajuste de frecuencias de transporte público consiste estimar una frecuencia representativa para cada servicio de manera tal de reproducir los conteos observados en la red de transporte.

Para estos efectos existe una serie de métodos recomendados, entre los que se cuenta la estimación mediante mínimos cuadrados o máxima verosimilitud. En términos generales estos métodos presentan características similares y es posible estimar valores para las frecuencias calibradas, por lo que en principio pueden ser utilizados indistintamente.

A continuación se presentan los métodos comúnmente utilizados:

- Máxima verosimilitud

El método de máxima verosimilitud (ML) es una técnica de estimación que permite encontrar el conjunto de frecuencias que mejor se ajusta a los flujos observados, es decir, el valor de frecuencias más susceptible que, cualquier otro, de generar los flujos observados.

Definiendo:

$\lambda_i$ : el mejor estimador de frecuencia de la línea  $i$  (por determinar).

$Q_k$ : el flujo total de transporte público medido en el punto de control  $k$ .

$\lambda_{ik}$ : la frecuencia medida de la línea  $i$  en el punto de control  $k$ .

$\delta_{ik}$ : una variable muda que toma el valor 1 si la línea  $i$  pasa por el punto  $k$  y toma el valor 0 en otro caso.

Entonces, por condiciones de continuidad debería cumplirse la siguiente ecuación:

$$Q_k = \sum_i \lambda_i \delta_{ik} \quad 10.4.2-1$$

Sin embargo, como es sabido, por diversos factores estas condiciones de continuidad no se satisfacen plenamente en la totalidad de los puntos de control, generándose errores que, para efectos del procedimiento que se describe, se suponen aleatorios. De esta manera, si se asume una distribución de los errores del tipo Poisson, como es común en teoría de flujos vehiculares, la probabilidad de que la frecuencia medida iguale a la estimada es:

$$P\left(Q_k = \sum_i \lambda_i \delta_{ik}\right) = \frac{e^{-\sum_i \lambda_i \delta_{ik}} (\sum_i \lambda_i \delta_{ik})^{Q_k}}{Q_k!} \quad 10.4.2-2$$

A partir de la ecuación anterior, es posible determinar los estimadores de máxima verosimilitud  $\lambda_i$ , que se derivan de maximizar el logaritmo de la función de verosimilitud, obteniéndose la siguiente expresión, válida para todo  $i$ :

$$\sum_k \left( \delta_k - \frac{Q_k \delta_{ik}}{\sum_i \lambda_i \delta_{ik}} \right) = 0 \quad 10.4.2-3$$

- Mínimos cuadrados

El método de mínimos cuadrados, intenta determinar el conjunto de frecuencias que logra ajustarse de mejor manera a los flujos observados en terreno, esta vez minimizando el error cuadrático entre los flujos observados y estimados.

En este caso el planteamiento general tiene la siguiente formulación:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \left( Q_k - \sum_i \lambda_i \delta_{ik} \right)^2 \\ & \text{s. a} \quad \lambda_i \geq 0 \end{aligned} \quad 10.4.2-4$$

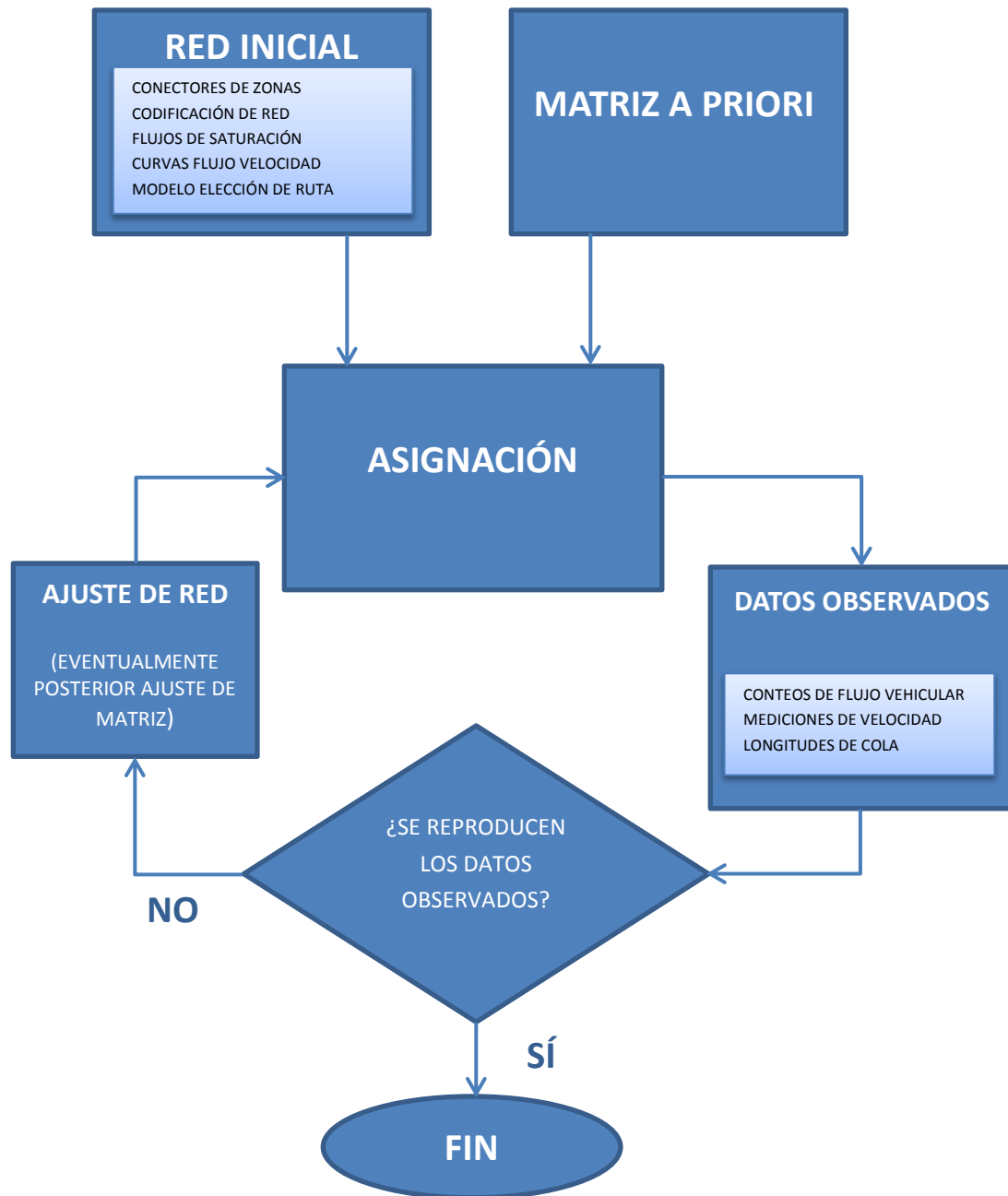
Empleando esta formulación es posible determinar el conjunto de frecuencias que se ajustan a los datos observados.

#### 10.4.2.2 Calibración del modelo de asignación

La calibración en redes de transporte consiste en construir un modelo que sea capaz de replicar las condiciones de operación observadas en la red de transporte, las que son típicamente definidas por los flujos vehiculares y tiempo de viaje. De esta manera, el modelo requiere validar o ajustar las características de la red de transporte y determinar matrices de viajes y frecuencias de flujos fijos que reproduzcan la información disponible. A continuación se presenta una figura que sintetiza el proceso antes descrito:

Figura 10.4.2-1

Esquema general de calibración de modelo de redes



La complejidad del proceso de ajuste consiste en emplear un método apropiado para modificar la matriz respetando la estructura de la matriz preliminar, para lo cual existen dos métodos: mínimos cuadrados y máxima verosimilitud.

#### a) Validación de la red de modelación

El proceso de ajuste requiere validar las redes de modelación para garantizar que se simule de manera adecuada la operación en el área de estudio. Esto involucra validar los siguientes aspectos:

- Conexión de Zonas. La localización de los conectores debe ser tal que permitan distribuir de manera adecuada los flujos en la red vial.
- Tiempos de viaje y flujos de saturación. Aun cuando los tiempos de viaje, velocidades y capacidades de arcos, corresponden a información que puede considerarse externa al proceso, es posible manejar variaciones marginales que permitan reproducir fenómenos no siempre medibles o incorporables directamente al proceso de modelación, como son los relacionados con la fricción lateral que provocan sectores con una intensa actividad peatonal o de estacionamientos, de carga y descarga, o paraderos de transporte público, aspectos que tienen una incidencia directa en la obstaculización de movimientos supuestamente libres (fenómenos que justamente por no ser sistemáticos, inducen una probabilidad alta de no haber sido detectados al efectuarse las mediciones).

#### b) Valor del tiempo

En redes que incluyan arcos tarifcados, es posible realizar pequeños ajustes a los valores del tiempo utilizados para la asignación, siempre manteniéndolos dentro de rangos razonables.

#### c) Matrices origen-destino preliminares

El método de ajuste requiere contar con una matriz preliminar que permita conocer los patrones de viajes realizados en el área de estudio. Esta matriz puede provenir de diversas fuentes, entre las que se cuentan:

- Matrices existentes
- Modelos de demanda disponibles
- Encuestas origen-destino (intercepción, patentes, dispositivos tecnológicos)
- Una combinación de las dos últimas opciones

Si bien, es posible emplear como matriz preliminar las estimadas como parte de estudios anteriores o bien a partir de la aplicación de modelos de demanda, en la generalidad de los casos, la mejor información para la construcción de matrices de viaje proviene de la realización de

encuestas en terreno, donde es posible disponer de un conocimiento directo de los patrones de viajes realizados en el área de estudio.

En este caso, el problema consiste en estimar una matriz única a partir de la consolidación de las encuestas origen-destino por punto de control. En este proceso se debe tener especial cuidado en el tratamiento de observaciones repetidas o dobles conteos. Este fenómeno se produce al existir al menos dos puntos que controlen el mismo par origen-destino. Si estos dos puntos se encuentran en serie, los viajes para ese par origen-destino, podrán ser promediados. Si por el contrario, se encuentran en paralelo bastará con sumarlos. Sin embargo, la diversidad de situaciones que puede producirse incluso en una red de mediana complejidad hace en general extremadamente laborioso el proceso de consolidación, esto es, de obtener una matriz única a partir del conjunto de encuestas realizado.

Entre los métodos para la consolidación de encuestas, se cuenta los métodos basados en la maximización de la verosimilitud y en mínimos cuadrados.

El método de máxima verosimilitud considera el siguiente planteamiento:

Sean:

$\lambda_{ij}$ : Viajes desde la zona origen  $i$  a la zona destino  $j$ . Esta es la matriz consolidada que se requiere estimar.

$X_r$ : Flujo observado que circula por el arco  $r$ . Es también un valor desconocido que se requiere estimar y corresponde a un período temporal y tipo de vehículo dado.

Entre estas variables existe la siguiente relación:

$$X_r = \sum_{i,j} \lambda_{ij} p_{ijr} \quad 10.4.2-5$$

Donde  $p_{ijr}$  representa la probabilidad de elección del arco  $r$  para un flujo desde la zona origen  $i$  a la zona destino  $j$ . Esta proporción es obtenida de la calibración de la red vial.

La estimación de las variables antes mencionadas deberá hacerse con la siguiente información:

- Datos procedentes de las encuestas origen-destino:

$n_{ijk}$ : Número total de vehículos observados en el punto de control  $k$  con origen en la zona  $i$  y destino en la zona  $j$ .

$t_k$ : Duración, en horas, de la encuesta origen-destino en el punto de control  $k$ .

$m_k$ : Tasa de muestreo, esto es, proporción que representa el flujo encuestado en relación al flujo total en el punto de control  $k$ .

- Datos procedentes de los conteos:

$n_r$ : Número total de vehículos observados en el punto de conteo  $r$ .

$t_r$ : Duración, en horas, del conteo en el punto de conteo  $r$ .

- Datos procedentes del modelo de asignación:

$p_{ija}$ : Proporción del flujo desde la zona origen  $i$  a la zona destino  $j$  que pasa por el arco  $a$ . Esta proporción resulta del modelo de asignación.

El objetivo del método de maximización de verosimilitud es encontrar el valor poblacional del parámetro más susceptible de generar la muestra observada.

Para aplicar este método resulta necesario calcular la probabilidad de haber observado lo realmente medido, la cual puede expresarse para un arco de encuesta o conteo respectivamente, como:

$$\begin{aligned} \pi_k &= P(\lambda_{ij} t_k m_k p_{ijk} = n_{ijk}) \\ \pi_r &= P\left(\sum_{h,l} \lambda_{hl} t_r p_{hlr} = n_r\right) \end{aligned} \tag{10.4.2-6}$$

Optimizando la función de verosimilitud para los  $\lambda_{ij}$ , y considerando que tanto los flujos como cada celda de las matrices de viajes siguen una distribución de Poisson, es posible demostrar que los viajes pueden ser estimados a partir de la siguiente expresión:

$$\lambda_{ij} = \frac{\sum_k n_{ijk}}{\sum_k t_k m_k p_{ijk} + \sum_r p_{ijr} \left( t_r - \frac{n_r}{\sum_{h,l} \lambda_{hl} p_{hlr}} \right)} \tag{10.4.2-7}$$

Al utilizar el proceso de consolidación descrito, la calibración de la red vial de modelación y la agregación de matrices se vuelve un proceso iterativo, en el que se requiere conocer las probabilidades de asignación para estimar las matrices  $\gamma$ , a su vez, es necesario contar con matrices agregadas para determinar estas proporciones.

Desde otra perspectiva, se debe señalar que la metodología presentada considera que la información de flujo vehicular disponible es el resultado de un muestreo realizado por un cierto número de horas, por lo tanto el flujo total (anual) en dicho arco es una incógnita a ser resuelta por el método.

En el caso que se conozca el flujo total anual en todos los puntos de control, por ejemplo, a través de un contador automático o una plaza de peaje, no será necesario introducir el flujo como incógnita en el problema, lo cual simplifica la solución del problema. En dicho caso, es posible demostrar que la solución es del siguiente tipo:

$$\lambda_{ij} = \frac{\sum_k n_{ijk}}{\sum_k t_k m_k p_{ijk}} \quad 10.4.2-8$$

Por su parte, el método de mínimos cuadrados, busca los  $\lambda_{ij}$  que minimizan el error cuadrático medio:

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_{i,j} \left( \sum_k t_k m_k p_{ijk} \lambda_{ij} - \sum_k n_{ijk} \right)^2 \\ \text{s. a.} \quad \lambda_{ij} \geq 0 \quad \forall i,j \end{aligned} \quad 10.4.2-9$$

O en forma equivalente:

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_k \left( \sum_{i,j} \lambda_{ij} p_{ijk} - X_k \right)^2 \\ \text{s. a.} \quad \lambda_{ij} \geq 0 \quad \forall i,j \end{aligned} \quad 10.4.2-10$$

#### d) Ajuste de matrices de viajes

La complejidad del proceso de ajuste consiste en emplear un método apropiado para ajustar la matriz de viajes respetando la estructura de la matriz preliminar, para lo cual existe una serie de procesos. El método más utilizado y conocido a nivel nacional es el de máxima entropía, descrito en detalle en Van Zuylen y Willumsen (1980). Su descripción general se entrega a continuación.

Si  $V_a$  representa el total de viajes medidos en un arco  $a$ , en primer lugar se requiere que la matriz de viajes cumpla con:

$$V_a = \sum_{i,j} T_{ij} p_{ija} \tag{10.4.2-11}$$

Donde  $p_{ija}$  representa la proporción de viajeros que utilizan el arco  $a$ , al viajar entre las zonas  $i$  y  $j$ , que puede ser estimada a partir de un modelo de asignación de viajes.

El problema de la estimación de una matriz  $\{T_{ij}\}$  vía maximización de entropía, a partir de una matriz a priori  $\{t_{ij}\}$  puede ser formulado como el siguiente problema de programación matemática:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_{i,j} \left( T_{ij} \ln \frac{T_{ij}}{t_{ij}} - T_{ij} + t_{ij} \right) \\ & \text{s. a.} \quad \sum_{i,j} T_{ij} p_{ija} - V_a = 0 \quad \forall a \\ & \quad \quad \quad T_{ij} \geq 0 \end{aligned} \tag{10.4.2-12}$$

La función objetivo se puede interpretar como la entropía de la matriz  $\{T_{ij}\}$  o bien como la distancia entre la matriz a priori y la matriz ajustada. De esta forma, la solución al problema indicado corresponde a la matriz más probable (y que se parece más a la matriz a priori) que satisface los conteos observados.

La solución al problema puede representarse mediante la siguiente expresión:

$$T_{ij} = t_{ij} \exp \left( \sum_a -\tau_a p_{ija} \right) = t_{ij} \prod_a X_a^{p_{ija}} \tag{10.4.2-13}$$

Donde  $X_a$  son factores de corrección asociados al conteo  $a$ , derivados de los multiplicadores de Lagrange correspondientes a las restricciones asociadas a cada conteo de tráfico ( $\tau_a$ ). Estos deben ser aplicados a la matriz de viajes  $\{t_{ij}\}$ .

**10.4.3 Definición de criterios de ajuste y tolerancias**

El resultado del proceso de calibración deberá ser evaluado en términos del nivel de ajuste alcanzado entre los flujos observados y modelados, como así también en términos de las velocidades medias en tramos característicos de la red y los tiempos de viaje a nivel de ejes.

El ajuste de los flujos vehiculares y niveles de servicio debe realizarse de forma conjunta, de manera tal de resguardar la consistencia entre ambos descriptores del sistema de transporte.

Para efectos de análisis, se recomienda sistematizar el procedimiento de ajuste, considerando tres escalas de análisis, desde lo general hasta lo particular, para facilitar la identificación de problemas, y mejorar la efectividad del trabajo de calibración.

En primer lugar, se generan indicadores generales de ajuste en el área de referencia: el GEH global y el gráfico de dispersión de flujos modelados versus observados. La identificación de los arcos con elevado GEH y el análisis del gráfico de dispersión permiten localizar los problemas de ajuste más evidentes y jerarquizar su relevancia de acuerdo con su importancia en la red y cercanía al área de intervención.

En segundo lugar, se recomienda analizar simultáneamente el ajuste de los flujos y tiempos de viaje para el eje de proyecto, los ejes alternativos y los ejes de acceso. Para ello, cada eje se divide en tramos delimitados, por ejemplo, por intersecciones relevantes. La comparación entre tiempos de viaje modelados y observados para cada tramo permite localizar con mayor precisión eventuales problemas de ajuste en arcos específicos de la red, y verificar la consistencia de estos con los flujos modelados.

La tercera escala corresponde a un análisis de arco o movimiento, especialmente enfocado al eje de proyecto, en el que se revisa el ajuste de los flujos o movimientos cuya representación sea particularmente relevante. Este es el caso de movimientos que el proyecto restrinja (por ejemplo, virajes a la izquierda).

Para estos efectos, a continuación se presentan los procedimientos de comparación.

#### 10.4.3.1 Comparación de flujos modelados y observados

La comparación flujos observados y modelados generalmente se realiza mediante los siguientes indicadores:

- Mediante el cálculo del GEH. El indicador estadístico GEH es útil para comparar flujos de distintas dimensiones en una red y es calculado como:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(V_2 - V_1)^2}{(V_1 + V_2)}} \quad 10.4.3-1$$

Este indicador incorpora el producto entre las diferencias absolutas y las diferencias relativas, obtenidas entre los flujos modelados ( $V_1$ ) y observados ( $V_2$ ). La razón de introducir este indicador estadístico es la incapacidad de lograr comparaciones adecuadas con las diferencias absolutas, o las diferencias relativas, cuando el rango de flujos observados es muy amplio.

Tradicionalmente se reconoce como buen ajuste la obtención de un GEH promedio de la red modelada menor que 5. Para confirmar que el ajuste es adecuado, es necesario verificar adicionalmente que el GEH de los arcos más relevantes para el análisis también cumpla esta condición. Valores mayores que 10 en arcos importantes del área de influencia no son en general aceptables, y requieren esfuerzos adicionales del analista.

- Mediante regresión entre los flujos modelados y observados. En este caso se debe obtener la recta entre los flujos observados y modelados, determinándose además de la constante y la pendiente de recta, el coeficiente de correlación. Este análisis deberá realizarse por separado para los flujos de distintas magnitudes (estableciéndose dos o tres tramos), dado que en general, la existencia de flujos con grandes diferencias de volumen puede aumentar el indicador  $R^2$  sin que esto indique un mejor ajuste.

#### 10.4.3.2 Comparación de velocidades y tiempos de viaje en la red

Para que el modelo cuantifique de manera apropiada los beneficios de la implementación del proyecto, se debe validar que la red de modelación para la situación actual sea capaz de reproducir con un cierto nivel de confianza, los tiempos de viajes y velocidades observadas en las mediciones de tránsito.

Para esto, se sugiere utilizar los siguientes criterios:

- Las velocidades medias incorporadas en la modelación de tránsito, resultantes del proceso de calibración, a nivel de ejes a tramos de la red, deberán estar dentro de un rango construido usando, como valor central, el promedio de las velocidades medidas, y como extremos, este valor más y menos 2 desviaciones estándar.
- En forma alternativa se debe validar que los tiempos de viaje en los ejes relevantes, deberán estar dentro del intervalo del 20% de la medición.

### Sección 10.5 Métodos de proyección de demanda

En el presente capítulo se describen diversas técnicas de proyección de demanda de viajes, cuyas diferencias radican en las distintas fuentes de información disponibles. Estas técnicas son herramientas que permiten al analista realizar estimaciones del crecimiento de matrices origen-destino de flujos sin itinerario fijo y el crecimiento de flujos y tasas de ocupación en flujos con itinerario fijo.

A continuación se presentan las técnicas de estimación para luego sugerir los enfoques de acuerdo con el tipo de proyecto analizado.

## 10.5.1 Técnicas de proyección de demanda

### 10.5.1.1 Estimación de tasas de crecimiento mediante modelos de series de tiempo

Los modelos de series de tiempo permiten explicar la evolución de una variable (flujo vehicular) en función de variables explicativas (PIB, tasa de motorización, población, etc.), de forma tal de predecir el comportamiento que tendrá dicha variable a lo largo del tiempo.

Existe una sólida teoría econométrica para la estimación de series de tiempo, la que permite evaluar la calidad de las estimaciones dependiendo de las fuentes de información disponibles.

En términos generales la estimación de series de tiempo en el ámbito de proyectos de vialidad urbana debe considerar los siguientes criterios generales:

- Variables explicativas: Se deberá seleccionar un conjunto de variables que permitan explicar el crecimiento del tránsito en el horizonte de análisis, entre las que se puede considerar PIB nacional, población, parque automotriz, tasa de motorización, ingreso familiar, entre otras.
- Las variables explicativas deben ser fácilmente proyectables, ya sea a través de juicios de expertos o series autorregresivas.
- En la estimación de series de tiempo se deben seguir los criterios estadísticos usuales para la calibración, considerando el análisis de la estacionalidad de las series y el análisis de la autocorrelación de los residuos.
- Como criterios de bondad de ajuste para los modelos se considerará la significancia estadística de los parámetros, el indicador de ajuste  $R^2$  y otros test de bondad de ajuste del modelo como indicadores de autocorrelación y estacionariedad de residuos.

### 10.5.1.2 Modelos de generación y atracción

La estimación de modelos de generación y atracción de viajes consiste en la determinación de relaciones funcionales entre los viajes totales producidos y atraídos por una determinada zona y sus características socio-económicas y demográficas. Esto reconoce implícitamente el hecho de que los viajes son una demanda derivada de las actividades que se desarrollan en el área de estudio. Por tanto la cantidad de viajes que entran o salen a una zona dependen de una diversidad de variables que permiten describir directa o indirectamente dichas actividades. Entre estas se puede mencionar:

- Generación de viajes de personas
  - Población
  - Número de hogares
  - Tamaño medio de hogar
  - Nivel de ingreso
  - Tasa de motorización (autos por hogar)
  - Tipo Empleo
  - Población según Sexo
  - Población según Edad
  - Indicadores sobre composición del hogar
  
- Atracción de viajes de personas
  - Superficie según uso (comercio, servicios, industria, educación, etc.)
  - Plazas de Empleos
  - Número de matrículas
  - Número de atenciones médicas

Las variables a incluir deberán ser determinadas a partir de un análisis exploratorio de las variables explicativas. No obstante, la factibilidad de incorporar dichas variables en la especificación de modelos de generación-atracción de viajes, depende en gran medida, de la factibilidad de predecir en el futuro dichas variables. Es decir, aun cuando una variable logre un muy buen ajuste en los modelos, si no es posible predecir su evolución futura, no es conveniente incluirla en la modelación. En este caso la experiencia del analista juega un rol fundamental y permite la definición a priori de especificaciones dependiendo de la información disponible.

El análisis exploratorio deberá considerar un análisis de la correlación de cada una de las variables explicativas con la variable dependiente, de manera tal de determinar aquellas relaciones principales entre las variables. Asimismo, se deberá analizar la correlación entre las variables explicativas, de manera tal de determinar cuáles pueden ser incorporadas de manera independiente en la especificación. Una vez identificadas estas variables se deberá realizar un conjunto de especificaciones, de manera tal de determinar el aporte de cada variable en la especificación, en términos de su significancia estadística y el impacto sobre la bondad de ajuste global del modelo.

Existe una diversidad de formas funcionales posibles de ser utilizadas en el desarrollo de modelos de generación, por ejemplo: especificación lineal, translog, cuadrática, Box-Cox, etc. La especificación final del modelo será determinada a partir del análisis econométrico de los modelos estimados.

### 10.5.1.3 Modelos de distribución de viajes entrópicos doblemente acotados

Los modelos del tipo entrópicos o gravitacionales doblemente acotados, se fundamentan en la teoría de maximización de entropía y cuya expresión general para un período y un propósito determinado, es la siguiente:

$$T_{ij}^n = A_i^n O_i^n B_j^n D_j^n e^{-\beta_n c_{ij}} \quad 10.5.1-1$$

En la que:

$T_{ij}^n$ : Total de viajes de la categoría  $n$ , en el par  $(i, j)$ .

$O_i^n$ : Total de viajes de la categoría  $n$  originados en la zona  $i$ .

$D_j^n$ : Total de viajes de la categoría  $n$  atraídos por la zona  $j$ .

$A_i^n$ : Factor de balance.

$B_j^n$ : Factor de balance.

$\beta_n$ : Parámetro de distribución para la categoría  $n$  (indica la impedancia al costo).

$c_{ij}$ : Costo generalizado de viajar entre  $i$  y  $j$  (para los usuarios de la categoría  $n$ ).

Este modelo se denomina doblemente acotado porque considera las siguientes restricciones (obviando el superíndice  $n$  que distingue la categoría de usuario):

$$\sum_j T_{ij} = O_i \quad , \quad \sum_i T_{ij} = D_j \quad 10.5.1-2$$

Estas restricciones pueden ser levantadas para establecer un modelo simplemente acotado (sólo se considera la restricción de los orígenes o de los destinos, pero no ambas). En tal caso desaparece el factor de balance asociado a dicha restricción.

Para solucionar el problema doblemente acotado se puede demostrar que los factores de balance cumplen con las siguientes igualdades:

$$A_i = \frac{1}{\sum_j B_j D_j \exp(-\beta c_{ij})} \quad , \quad B_j = \frac{1}{\sum_i A_i O_i \exp(-\beta c_{ij})} \quad 10.5.1-3$$

Estas expresiones se pueden resolver por el método de punto fijo hasta alcanzar la convergencia deseada. Para encontrar el valor del parámetro  $\beta$ , los métodos de estimación más utilizados son los de tanteo sucesivo, el uso de la ecuación de holgura complementaria (a partir de la restricción de costos) y el método de Hyman.

### 10.5.1.4 Modelos de demanda directa

Los modelos de demanda directa o de generación distribución conjunta intentan explicar los viajes entre un par de zonas en función de las características de las zonas de origen y destino. Típicamente se acepta una forma funcional para el modelo del siguiente tipo:

$$T_{ij} = \sum_{i,j} X_i X_j f(c_{ij}) \quad 10.5.1-4$$

Donde  $X$  es un vector con características de la zona que se considera que influyen en la producción y atracción de viajes, en tanto  $f$  es una función del costo generalizado de transporte  $c_{ij}$ , que considera típicamente tiempo de viaje y tarifas. Habitualmente se plantea un modelo lineal en los parámetros dado el fuerte sustento provisto por la teoría econométrica para la estimación de esta clase de modelos.

Las variables de uso de suelo o características de las zonas corresponden a las mismas utilizadas en la estimación de modelos de generación y atracción, como pueden ser: población u hogares, ingreso, atractivos turísticos, etc. La ventaja de este tipo de modelos por sobre el esquema de dos etapas generación-distribución, es que aquí la demanda resulta elástica a los costos de transporte, cuestión que no considera el planteamiento anterior donde la producción y atracción se considera fija.

Desde el punto de vista del trabajo econométrico subyacente en la estimación de estos modelos se destaca la necesidad de validar el supuesto de homoscedasticidad de los residuos, como también el hecho de que la variable dependiente deba ser necesariamente positiva (supuesto también válido para el caso de los modelos de generación).

Se debe notar que para una correcta estimación de este tipo de modelos, se requiere disponer de matrices origen-destino que reproduzcan la cantidad de viajes realizados, con un nivel de detalle adecuado, lo que en muchos casos involucra disponer de una gran cantidad de información. Naturalmente, la bondad de los modelos dependerá de la calidad de la información base con la que sean construidas las matrices y, obviamente, la capacidad que tengan las variables escogidas de explicar los flujos observados.

#### 10.5.1.5 Métodos de proyección de matrices en base a vectores de generación y atracción

En la eventualidad que se disponga de estimaciones del crecimiento de los vectores de generación y atracción de viajes, es posible proyectar la matriz de viajes calibrada empleando alguna de las técnicas disponibles en la literatura.

Existen diversos enfoques generales para la proyección de matrices, destacando el método de Furness, el que permite proyectar una matriz de viajes de manera tal que satisfaga los vectores de generación y atracción proyectados.

Su forma general es la siguiente:

$$T_{ij}^t = A_i B_j T_{ij}^0$$

$$\sum_j T_{ij}^t = O_i^t \quad ; \quad \sum_i T_{ij}^t = D_j^t \quad 10.5.1-5$$

donde,

$T_{ij}^0$ : Matriz de viajes del año base en el par  $(i, j)$ .

$T_{ij}^t$ : Matriz de viajes del año  $t$ , en el par  $(i, j)$ .

$O_i^t$ : Total de viajes proyectados al año  $t$ , originados en la zona  $i$ .

$D_j^t$ : Total de viajes proyectados al año  $t$ , atraídos por la zona  $j$ .

$A_i$ : Factor de balance.

$B_j$ : Factor de balance.

De esta manera, se determinan iterativamente los factores de balance, de forma tal de proyectar la matriz del año base al corte temporal futuro, respetando la generación y atracción de viajes.

$$A_i = \frac{O_i^t}{\sum_j B_j T_{ij}^0}, \quad B_j = \frac{D_j^t}{\sum_i A_i T_{ij}^0} \quad 10.5.1-6$$

El resultado del proceso iterativo es una matriz proyectada ( $T_{ij}^t$ ), que respeta la proyección de demanda realizada en torno a los vectores de generación y atracción, considerando la estructura de viajes de la matriz del año base.

## 10.5.2 Enfoques de modelación

El uso de las técnicas de proyección de demanda depende tanto de la disponibilidad de información como del fenómeno que se desee proyectar.

En el caso de que se disponga de antecedentes de estudios previos, ya sea de estudios estratégicos o tácticos en el área de estudio, estos permitirán contar con una fuente de información adicional para la proyección de los viajes, la que deberá ser validada para determinar la calidad y suficiencia de los antecedentes. En caso contrario, será necesario estimar modelos de demanda para proyectar los viajes a los cortes temporales futuros.

Desde el punto de vista de la técnica de proyección de demanda, se puede distinguir entre enfoques asociados al análisis de matrices de viajes y flujos en arcos, lo que involucra distinguir explícitamente entre viajes con y sin reasignación.

## Sección 10.6 Modelación del deterioro de pavimentos

### 10.6.1 Formulación Matemática para el Diseño en Hormigón

Cuando se requiere incorporar la estimación del deterioro de los pavimentos del sistema vial afectado por las solicitaciones de los vehículos que por él circulan, se debe proceder como se indica a continuación:

- Estimar el nivel de servicio de operación para el sistema, con la política de mantención y conservación (periódicas, rutinarias y de reconstrucción) que corresponda.
- Aplicar modelos de deterioro, por ejemplo los descritos en AASHTO (1993), AASHTO (2008), en función de las solicitaciones proyectadas para cada corte temporal, incorporando al análisis el volumen proyectado de vehículos pesados con sus eventuales reasignaciones, y la estructura de pavimentos considerada a partir del primer año de operación, en cada tramo característico del sistema afectado.
- Estimar los costos de mantención en los cortes temporales que corresponda.

Como resultado de la aplicación del modelo de deterioro se obtiene la variación de la rugosidad en el tiempo, a partir de la cual se determinan los ahorros de costos de operación de usuarios motorizados.

## Capítulo 11 Diagnóstico

### Sección 11.1 Diagnóstico de transporte

En este diagnóstico se busca identificar los conflictos presentes en el sistema de transporte, sus causas, y su proyección futura. Para ello se analiza el comportamiento de los distintos usuarios presentes en el área de estudio.

El diagnóstico de transporte comienza con la síntesis de los antecedentes disponibles de oferta y demanda, lo que permite generar una descripción de la operación global del sistema, basada por ejemplo en indicadores generales tales como niveles medios de flujo, velocidades medias de circulación en el área, presencia relativa de vehículos de transporte público o de carga, intensidad peatonal (alta, media o baja), principales puntos generadores y atractores de viaje, etc. Esta actividad orienta los análisis posteriores, pues permite una identificación preliminar de los conflictos existentes.

#### 11.1.1 Conflictos

Los conflictos tienen su origen en diferencias en la velocidad, dirección o función que desempeñan en un lugar determinado ciertas corrientes vehiculares o peatonales. Los conflictos se detectan a través de sus manifestaciones físicas y típicamente, cuando alcanzan una intensidad apreciable, son catalogados como problemas. Interesa entonces precisar cómo describirlos, detectarlos, y luego, atribuirles causas.

Para describirlos, hay dos variables claves: participantes e intensidad. Los primeros pueden representarse como movimientos, identificando así directamente los orígenes y destinos involucrados (zonas o accesos) y los usuarios de distintas categorías de vehículos. La intensidad de un conflicto se manifiesta principalmente a través de la congestión que generan o de los accidentes.

Indicadores adecuados de congestión son el grado de saturación en una intersección, o la velocidad media en la vía; en el caso de usuarios no motorizados, serán relevantes por ejemplo, las demoras en cruces, y la interacción con los vehículos motorizados en arcos (circulación de bicis o peatones en la calzada).

Los accidentes se cuantifican recurriendo a su tasa anual por clase de accidente, sin embargo, también pueden analizarse los conflictos desde el punto de vista de la seguridad vial, identificando situaciones potencialmente riesgosas.

La detección de los conflictos se realiza basándose en la intensidad. Esta no necesariamente individualiza los movimientos involucrados. Por ejemplo, un grado de saturación alto en una intersección semaforizada sirve para detectar movimientos críticos, a lo que debe seguir un análisis más fino que permita detectar los conflictos a que responden, que podrían estar relacionados tanto con usuarios motorizados como no motorizados.

Los requerimientos establecidos para la simulación de la situación actual y proyectada, más el reconocimiento de terreno y la diversa información recopilada aseguran que se dispondrá de lo necesario para la detección de conflictos. Para algunos aspectos de este análisis, puede ser suficiente caracterizar cualitativamente la intensidad (por ejemplo: alta, media, baja), ya que finalmente el objetivo es considerar los conflictos más relevantes, considerando a todos los tipos de usuarios, en la proposición de soluciones integrales.

Más que las causas de los conflictos, que suelen ser evidentes, lo que se busca es comprender qué determina su intensidad. Dos aspectos son esenciales: si son conflictos derivados de otros, y si responden a subutilización o insuficiencia de capacidad (de calzadas, aceras, ciclovías o intersecciones). Conflictos derivados pueden ser eventuales encadenamientos por bloqueo, y en este caso, el diagnóstico apunta a identificar los cuellos de botella originales. Respecto de los problemas de capacidad, el diagnóstico permite discernir si hay margen de mejora en su uso eficiente, o si existe un desequilibrio mayor entre flujo y capacidad. La causalidad de conflictos más relacionados con la seguridad, puede tener origen en una infraestructura inadecuada o en su deficiente estado.

### **11.1.2 Diagnóstico de transporte para vehículos motorizados**

Se centra en el análisis de operación vehicular, basándose en la modelación de la situación actual y proyectada, complementada por el análisis de terreno, y otros antecedentes disponibles.

#### **11.1.2.1 Análisis a nivel de intersecciones**

Debe centrarse en la identificación de conflictos operativos, los que se originan por una subutilización o insuficiencia de la capacidad. Los problemas de subutilización dan origen generalmente a soluciones de gestión de tránsito, mientras que la insuficiencia requiere soluciones de mayor provisión de infraestructura.

##### **a) Subutilización de capacidad**

Son dos las principales situaciones en que este fenómeno existe:

- Desequilibrio de grados de saturación: Es el caso en que en una intersección hay movimientos que presentan un alto grado de saturación mientras otros están notoriamente menos saturados. Puede deberse a que la forma de control de la intersección es inapropiada. O, si está semaforizada, a que la programación (diseño de fases, reparto o desfase) no es la adecuada.
- Capacidad anómala: Es el caso en que un movimiento, o una combinación de ellos, poseen una capacidad significativamente inferior al valor estándar correspondiente. Esto puede originarse por un flujo de saturación básico reducido, por pérdidas excesivas o, si no es una intersección semaforizada, por un incremento del efecto de los flujos prioritarios sobre la capacidad del secundario. A su vez, estas causas pueden estar asociadas a fenómenos diversos: uso inadecuado de las pistas, interferencia con peatones, paradas de buses o vehículos estacionados en la calzada, etc. La importancia de establecer la causa específica, radica en que el tratamiento a aplicar es distinto, como se deduce de los ejemplos mencionados. Esta tarea de identificación de causas es el vínculo entre el diagnóstico y la generación de alternativas, y exige una adecuada interpretación de variables agregadas como el grado de saturación.

## b) Insuficiencia de capacidad

Cuando no hay capacidad disponible, obtener mejoras exige disminuir el flujo, vía reasignación u otro mecanismo, o ampliar la infraestructura. La manera de abordar este problema en la generación de alternativas, dependerá entonces del tipo de proyecto. Si el lugar en que se da el desequilibrio figura entre los sujetos a rediseño es conveniente entregar información adicional que se oriente a describir el carácter del desequilibrio.

### 11.1.2.2 Análisis a nivel de arcos

Debe orientarse a caracterizar los tramos de vía en la red analizada. Los conflictos a nivel de arcos serán detectados sobre la base de una baja velocidad de operación. Deben identificarse las causas, que podrían tener su origen en situaciones como: estacionamientos en la calzada, operación de paraderos de buses, alta presencia de vehículos pesados, puntos de ingreso o egreso de vehículos a mitad del arco, etc.

### 11.1.2.3 Diagnóstico de transporte público

En ejes donde exista una operación relevante de transporte público, tanto a nivel de flujos vehiculares como de operación de paraderos, convendrá profundizar en el análisis de conflictos asociados a estos vehículos. Los elementos que deberán ser analizados serán al menos:

- Magnitud y tipología de los flujos de transporte público: Para los ejes de interés se deberá establecer las magnitudes de los flujos de transporte público (medidos en vehículos y pasajeros), identificando la cantidad de recorridos que circulan, y las tipologías de vehículos de transporte público que circulan. También interesa identificar la existencia de tramos con tasas de ocupación excesivas.
- Paraderos: identificación de los lugares de parada (por recorrido si existen parada divididas) e intensidad de la actividad del paradero en cada período de análisis, identificación de sectores con congestión extravehicular, caracterización de la accesibilidad al transporte público, identificación de conflictos con actividades de borde, etc.
- Velocidades comerciales y frecuencias: identificación de tramos con bajas velocidades de operación de los buses, o frecuencias irregulares. Además interesa el análisis de sus causas.
- Identificación de otros problemas operacionales: aspectos como anchos de pista inadecuados, radios de giro insuficientes, desalineaciones del eje, interferencia en la operación de paraderos por intersecciones o viceversa, diseño inadecuado de fases del semáforo, etc.

#### **11.1.2.4 Diagnóstico operación vehículos de carga**

Un caso particular de análisis se abordará en aquellas ciudades o áreas de una ciudad en que exista una circulación importante de vehículos de carga. En los mismos términos mencionados para el caso de vehículos de transporte de carga se debe analizar:

- Magnitud y tipología de los flujos de vehículos de carga.
- Conflictos generados por operaciones de carga y descarga.
- Identificación de problemas operacionales, generados por dimensiones mayores de vehículos de carga que emplean vialidad con estándar de ciudad.

#### **11.1.3 Diagnóstico de transporte para usuarios no motorizados**

##### **11.1.3.1 Peatones**

Los elementos relevantes que el analista podrá considerar para la elaboración del diagnóstico de peatones son los siguientes:

- Determinar el nivel de cumplimiento de los principios básicos de composición descritos en la Sección 12.2 relacionados con los peatones.

- Determinación del nivel de servicio de los espacios peatonales existentes en el área de estudio, tomando en consideración lo indicado en la Sección 12.2.
- Identificar el nivel de conectividad de las redes peatonales, de manera que el anteproyecto a desarrollar resuelva adecuadamente la continuidad de los desplazamientos de peatones y la ubicación de cruces peatonales.
- Determinar el estado del pavimento de las veredas y de aquellos espacios asociados a la espera peatonal (islas, refugios, andenes, etc.)
- Estado de consolidación de las aceras donde se emplazan los circuitos peatonales y su vinculación con los principios de seguridad y confort.
- Identificar la adecuada provisión de facilidades de accesibilidad al transporte público (refugios peatonales, andenes, etc.)
- Establecer la existencia adecuada de facilidades para la accesibilidad universal (dispositivos de rodados, huellas táctiles, presencia de obstáculos, etc.).

Además de lo anterior, en SECTRA (2012), se encuentra una metodología que analiza las variables relacionadas con la circulación peatonal en cuatro dimensiones: seguridad, continuidad, información y calidad.

La sistematización del diagnóstico puede realizarse mediante fichas, reportes o tablas resumen, que incluyan los elementos más importantes que condicionan el diseño.

### 11.1.3.2 Ciclistas

Los elementos relevantes que el analista podrá considerar para la elaboración del diagnóstico de usuarios de bicicletas son los siguientes:

- Identificar oportunidades para la generación de infraestructura dedicada establecidas en los respectivos instrumentos planificación territorial.

En el caso de existir ciclovías:

- Determinar la calidad del pavimento o superficie de rodado de la ciclovía.
- Establecer el estado de conservación de las ciclovías (limpieza, presencia de obstáculos, etc.).
- Indicar el estado de las soluciones de saneamiento de las ciclovías.

- Determinar el ancho de las ciclovías y su vinculación con la seguridad y comodidad de los usuarios.
- Establecer el nivel de segregación de las ciclovías.
- Identificar el nivel de conectividad entre ciclovías existentes en el área de estudio y con áreas de interés (parques, plazas, puntos de atracción relevantes, etc.).
- Determinar el nivel de cumplimiento de los principios básicos de composición descritos en 12.2.4.3e) (coherencia, directas, atractivas, cómodas y seguras).
- Determinar la presencia de estacionamientos para bicicletas.

#### **11.1.4 Análisis de la interacción entre vehículos motorizados y usuarios no motorizados**

Interesa también en el diagnóstico de transporte encontrar las causas de los conflictos entre los distintos tipos de usuarios del espacio vial urbano.

La baja velocidad de operación en un arco, con la consiguiente pérdida de fluidez del tránsito de vehículos motorizados, puede encontrar su causa en conflictos importantes entre vehículos motorizados y peatones o bicicletas. Los cruces peatonales en las intersecciones semaforizadas pueden disminuir fuertemente la capacidad de los movimientos de viraje. Los pasos de cebra en arcos y la circulación de bicicletas por la calzada, pueden también explicar bajas velocidades de operación.

Por otra parte, la existencia de anchos insuficientes para las aceras, que traspasan parte de su circulación peatonal a las calzadas, atenta fuertemente contra la seguridad de peatones. También las corrientes peatonales de magnitud importante pueden ver afectada la longitud de su recorrido para evitar la interacción con flujos de vehículos motorizados.

#### **11.1.5 Diagnóstico de accidentabilidad**

Los datos sobre accidentes han de ser analizados no sólo en los “puntos negros”. En todo lugar seleccionado como problemático, esta información se manejará en paralelo con la de congestión. El tipo y frecuencia de accidentes puede contribuir a encontrar causas de subutilización o a mostrar defectos de diseño que influyen negativamente sobre la capacidad. A la vez, situaciones deficitarias para usuarios como los peatones, que no son fáciles de detectar por otros medios, suelen quedar en evidencia con estos datos. El diagnóstico de accidentabilidad debe orientarse a identificar elementos del diseño físico u operacional de las vías que contribuya a la ocurrencia de accidentes. Este análisis se basará en la estadística de accidentes disponible para el área de estudio (acápites 9.1.14), lo que también puede complementarse con la identificación de conflictos

específicos y de condiciones tales como: visibilidad insuficiente, señalética o regulación inadecuadas, que pueden constituir elementos de riesgo potencial para los usuarios de las vías. El detalle y profundidad del análisis y diagnóstico dependerá de la cantidad y calidad de la información con que se cuente.

#### **11.1.5.1 Análisis tipología de accidentes**

Los accidentes se deberán clasificar según las siguientes tipologías: atropello, colisión, choque y volcadura. Si la información disponible lo permite, es aconsejable además desagregar las colisiones en: frontales, laterales y por alcance; del mismo modo los choques pueden separarse en choque con objeto, choque con vehículo posterior y otros. Esta mayor desagregación permitirá un más detallado análisis de posibles causas de los accidentes, que permitan orientar las soluciones para su reducción en cantidad o en gravedad.

#### **11.1.5.2 Localización de accidentes**

La localización de los accidentes es un dato relevante en relación con la concentración de los mismos y las características del lugar donde ocurren: intersecciones semaforizadas, de prioridad, tramos de vía, nudos desnivelados, rotondas, pasos peatonales, etc.

#### **11.1.5.3 Tipos de usuarios involucrados**

El análisis de los tipos de usuarios involucrados permitirá orientar las de manera más específica.

#### **11.1.5.4 Magnitud y gravedad de los accidentes**

La magnitud y gravedad de los accidentes se asocia principalmente a la cantidad de accidentes que ocurren y la cantidad y gravedad de las lesiones de las personas involucradas. Esto puede influir notablemente en la magnitud de las intervenciones. Por ejemplo, ejes de alta velocidad donde se producen muertes por atropello, podrían aconsejar la instalación de pasarelas peatonales; mientras que zonas de menor velocidad pueden controlarse con medidas de aquietamiento vehicular, pasos peatonales o semáforos peatonales, entre otras.

#### **11.1.5.5 Identificación de riesgos potenciales**

Complementariamente al análisis de accidentabilidad, el diagnóstico debe considerar la identificación lugares en el área de proyecto donde se observen riesgos potenciales de accidentes, estableciendo igualmente las posibles causas. Aun cuando en dichos lugares no se hayan registrado accidentes, las deficiencias físico-geométricas u operativas existentes, pueden generar accidentes en el futuro.

## Sección 11.2 Diagnóstico de infraestructura

A partir de los catastros generales y revisiones específicas de la oferta vial, se deben identificar y describir los conflictos principales que se presentan en la operación de las vías, producto de condiciones o restricciones que representa la infraestructura vial existente o restricciones para la generación de ampliaciones o nuevas vías.

El diagnóstico de infraestructura debe considerar el análisis de las distintas componentes viales urbanas, en cuanto a sus dimensiones, estado, funcionalidad y cumplimiento normativo.

Se distinguen tres dimensiones principales para este diagnóstico: la vialidad, las instalaciones en la plataforma vial y las estructuras y obras especiales.

### 11.2.1 Vialidad

Se debe analizar la oferta de infraestructura vial existente, desde el punto de vista de la composición geométrica y de sus relaciones para la operación de los distintos elementos constitutivos de la plataforma, como así también en relación al tipo y estado de los pavimentos y del sistema de saneamiento de aguas lluvias. De igual manera, se deben analizar los alcances de las expropiaciones resultantes de la comparación entre la faja normada y la existente (grado de consolidación de la faja).

### 11.2.2 Instalaciones en la plataforma vial

Cualquier elemento aéreo o subterráneo presente en la faja vial puede convertirse en una condicionante de diseño si debe ser alterado o evitado por las soluciones analizadas, razón por la que debe ser identificado (tipo de elemento y materialidad), posicionado (emplazamiento), determinadas sus dimensiones relevantes, además de su estado de conservación relativo a la función que cumple en la vía. Esto debe ser presentado en planos de planta y fichas técnicas con eventual información complementaria.

El nivel de precisión debe ser suficiente para poder identificar las acciones necesarias y determinar las inversiones asociadas para su eliminación, reposición o evasión, dependiendo del nivel de análisis del proyecto. Además debe permitir que en el caso de reposiciones se identifiquen las obras asociadas de manera diferenciada a obras complementarias de ampliación.

### 11.2.3 Estructuras y obras especiales

Las obras especiales (puentes, trazados férreos, túneles, estructuras relevantes, defensas fluviales, defensas costeras, taludes o cortes, etc.) catastradas en los estudios de base deben ser analizadas

in situ por los especialistas correspondientes identificando el estado de conservación (vida útil) y funcionalidad que presentan en la situación actual. Se deben identificar soluciones viables frente a posibles modificaciones requeridas, así como las restricciones a eventuales ajustes (normalmente ampliación o reforzamientos) provenientes de requerimientos de movilidad de los diversos usuarios. Se deben dimensionar y cuantificar las intervenciones necesarias para su demolición y transporte a botadero o dentro de reciclaje, o para su reemplazo en el caso de que se requiera.

## Sección 11.3 Diagnóstico urbano-ambiental

El diagnóstico urbano-ambiental se basa en los antecedentes recopilados y en los estudios de base realizados, y tiene como objetivo determinar el estado actual del área de análisis y caracterizar el área de intervención, detectando sus restricciones y potenciales, sus debilidades y fortalezas, e identificando aquellas características que puedan constituir amenazas y producir impactos negativos, o constituir oportunidades y producir impactos positivos sobre el desarrollo y entorno urbano en general.

El diagnóstico del área de estudio recoge también los lineamientos que han sido planteados por las autoridades y actores locales por medio de la imagen objetivo construida sobre la base de los instrumentos de planificación, respecto de las siete categorías de análisis definidas para el análisis urbano-ambiental (ver Sección 5.6.).

Para cada categoría o familia de antecedente, se deberá preparar un resumen o matriz analítica a modo de listado de condicionantes que permita resumir el diagnóstico y simplificar su uso, para posteriormente incorporar esta información para cada tramo o sector del proyecto, en el plano de diagnóstico integral.

Lo anterior se puede complementar mediante una ficha, reporte o tabla resumen de diagnóstico, que constituyan la síntesis de los elementos más importantes que condicionan el diseño y fundamentan el análisis.

## Sección 11.4 Plano de condicionantes

El plano de diagnóstico integral debe sintetizar en forma gráfica y localizada las condicionantes más relevantes del proyecto y las potencialidades que éste plantea.

Este plano busca presentar de manera resumida las conclusiones del diagnóstico y permitir la consulta fácil y expedita, de la información clave, en las etapas posteriores y debe contener al menos la siguiente información:

- Categoría de vías.
- Ancho de faja según normativa y ancho de faja existente.
- Usos de suelo predominantes y relevantes.
- Accesibilidad vehicular y peatonal de borde.
- Usuarios motorizados y no motorizados predominantes.
- Puntos o edificios singulares en torno al área de intervención en el espacio privado (patrimoniales, otros).
- Hitos y elementos geomorfológicos en el área de intervención (elementos construidos, patrimoniales, geográficos, monumentos, accidentes, barreras, pendientes, zonas de riesgo, etc.).
- Actividades o eventos relevantes del espacio público o privado (ceremonias, ferias, etc.).
- Cruces, intersecciones y nudos viales de importancia (semaforizados, desnivelados, informales, etc.).
- Espacios públicos, áreas verdes y líneas de arborización relevantes.
- Puntos de trasbordo, de restricción de flujos y de alta densidad peatonal o vehicular.
- Proyectos programados de infraestructura o inmobiliarios relevantes.
- Estructuras y obras especiales (canales, túneles, puentes, viaductos, vías férreas, autopistas, metro, tendidos de alta tensión, colectores mayores, etc.).
- Condiciones ambientales especiales (viento, lluvia, hielo, nieve, marejadas, crecidas, etc.).
- Zonas congestionadas y accidentabilidad.
- Zonas de inseguridad ciudadana.

Esta síntesis, presentada sobre el MSA, conforma el plano de diagnóstico integral, que en formato digital corresponde a la cartografía base para el análisis de ideas iniciales y desarrollo de soluciones conceptuales.

La escala de presentación del plano de diagnóstico integral depende del tipo de proyecto y su entorno, el objetivo es que desde una óptica general se aprecien las oportunidades y entiendan las

condicionantes de diseño que debe enfrentar el analista. A nivel digital, este plano tiene la misma precisión del MSA utilizado como referencia.

De esta forma, las condicionantes levantadas son consideradas por las soluciones propuestas y al avanzar en el desarrollo del proyecto, estas se precisan a partir de los estudios de base complementarios.

## Capítulo 12 Diseño

### Sección 12.1 Definiciones y fundamentos del diseño vial urbano

#### 12.1.1 Generalidades

El diseño vial urbano debe ordenar y dimensionar las componentes de la vialidad urbana, permitiendo que los usuarios motorizados y no motorizados resuelvan sus necesidades de movilidad dentro de la ciudad. Las acciones de diseño intervienen el espacio público confinado por propiedades privadas y otros espacios públicos no destinados a la movilidad. En situaciones en que los espacios disponibles no son suficientes, se pueden intervenir espacios privados a través de mecanismos de expropiaciones.

Por lo anterior, al iniciar un proceso de diseño vial urbano, es necesario conocer el objeto de diseño y las componentes principales de éste, también se debe estar al tanto sobre los potenciales usuarios y los requerimientos de cada uno de ellos para resolver sus necesidades de movilidad, además de las condiciones que generan los espacios afectados para la implementación de un diseño. A partir de lo anterior, se organizan y dimensionan las componentes en los espacios establecidos, de acuerdo a los objetivos perseguidos y a la fase de análisis en que se encuentre el proyecto.

Este capítulo tiene por objeto organizar los requerimientos del diseño vial contenidos en el REDEVU, para cada etapa del ciclo de vida que aborda este manual. De esta forma, se presentan recomendaciones respecto de la secuencia de desarrollo de actividades para prediseños y anteproyectos, funcionales a la evaluación social de proyectos. Las recomendaciones específicas sobre el diseño de elementos de infraestructura vial urbana, tales como el diseño geométrico, definiciones analíticas, normalización de dimensiones y otras características propias de los componentes principales de la infraestructura vial urbana, se deben consultar en el REDEVU.

#### 12.1.2 Componentes del espacio vial urbano

Las componentes viales urbanas se definen a partir de las funciones específicas que presentan. Entre ellas que se identifican unidades viales, fajas funcionales, dispositivos y elementos.

##### 12.1.2.1 Unidades viales

Entre las unidades viales se distinguen las calzadas como parte de zonas vehiculares, las aceras como parte de zonas no vehiculares, y las unidades mixtas (pasajes, calles-veredas y otros).

Existen también separadores viales (medianas, bandejones e islas) como zonas no vehiculares, las que dependiendo de sus características y tamaños pueden acoger a otros usuarios (peatones, ciclistas entre otros).

Puede ser necesario incorporar unidades especiales, donde se agrupan componentes particulares en tramos específicos, dentro de los que se encuentran: túneles, puentes u otras obras de características particulares.

Por otro lado, se requiere para cada unidad vial entre tramo e intersección, debido a que la circulación e interacción de usuarios en estas secciones se hace de manera distinta y requieren de un tratamiento especializado, siendo en las intersecciones donde el diseño adquiere una mayor complejidad.

### **12.1.1.2 Fajas funcionales**

Son divisiones longitudinales de las unidades viales, que definen el uso o función que cumplen en la vialidad urbana y corresponden a pistas (faja vehicular), veredas (faja de caminata), ciclovías, fajas de servicios y paisajismo, fajas de seguridad, entre otras.

Las fajas funcionales buscan obtener un adecuado ordenamiento de la vialidad urbana disponible, razón por la cual cada faja adquiere una función, una dimensión y también, según lo determine cada diseño, un material distintivo y adecuado al uso definido.

El objetivo final del ordenamiento de las unidades de las vías urbanas en base a fajas funcionales, es favorecer el mejor uso del espacio urbano disponible como también mejorar las condiciones espaciales según los requerimientos de cada uso, junto con la seguridad de los usuarios del sistema.

### **12.1.1.3 Dispositivos**

Corresponden a mecanismos dispuestos para producir una acción prevista en el desplazamiento, interacción o transbordo, de vehículos o personas en vías urbanas.

Los dispositivos son particularmente importantes para evitar accidentes o conflictos, y regular la interacción de los distintos usuarios dentro de las fajas y unidades de las vías urbanas. Ellos pueden, entre otros, apoyar, alertar, restringir, facilitar y encauzar la circulación o el transbordo, tanto en los tramos como en las intersecciones. También pueden estar dirigidos a distintos tipos de usuarios según sus características, como son los dispositivos de accesibilidad universal, de tráfico calmado, etc.

#### **12.1.2.4 Elementos**

Son los componentes de unidades, fajas y dispositivos. Pueden agruparse en dos categorías generales, los simples o de fácil modificación, que se encuentran normalmente en las fajas y dispositivos funcionales de vías urbanas, y los de mayor envergadura que normalmente son condicionantes fuertes para eventuales modificaciones de la faja existente.

En la tabla que sigue se presenta un listado de cada una de las componentes indicadas en el presente acápite:

Tabla 12.1.2-1  
Componentes de vías urbanas

UNIDADES	FAJAS	DISPOSITIVOS	ELEMENTOS	
CALZADAS	Pistas comunes Pistas para buses Pistas para bicicletas Pistas cambio de velocidad Fajas de estacionamientos Otras	De estacionamiento De intercambio De advertencia o alerta De transición De cruce peatonal De control de velocidad Otros	Barreras -Defensas Tachas Alertadores Cebras Demarcaciones Semáforos Otros	Puentes Pasos desnivelados Pórticos Estructuras de señalización Peajes Otros
ACERAS	Faja de caminata o circulación (vereda) Faja de servicios Faja de paisajismo Faja de seguridad Faja de concesión y comercio Faja de ajuste o separación Ciclo vías Otras	De desplazamiento De intercambio modal De transición o advertencia De intersección o cruce De detención o permanencia De movilidad universal De estacionamiento de bicicletas Otros	Señalizaciones Refugios paraderos Topes - Bolardos Postes - Tapas Iluminación Mobiliario Paisajismo Vallas Pavimentos Otros	Ascensores Escaleras mecánicas Pasos a desnivel Túneles Puentes Zonas pagas Intercambio modal Otros
SEPARADORES	Faja de caminata o circulación (vereda) Faja de servicios Faja de paisajismo Faja de seguridad Faja de ajuste o separación Ciclo vías Otras	De movilidad universal De intersección o cruce De transición o advertencia Otros	Paisajismo Iluminación Vallas Pavimentos Otros	Pasos a desnivel Ventilaciones Intercambio modal Zonas pagas Otros
ZONAS MIXTAS	Faja mixta (caminata - vehicular) Faja de servicios Faja de paisajismo Faja de seguridad Faja de ajuste o separación Otras	De transición o advertencia De intersección o cruce Otros	Postes Tapas Iluminación Mobiliario Paisajismo Otros	Ascensores Escaleras mecánicas Ventilaciones Otros
ESPECIALES	Faja de caminata o circulación (vereda) Faja de seguridad Pistas comunes Ciclo vías Otras		Barreras Tachas Alertadores Demarcaciones Otros	Pórticos Estructuras de señalización Otros

### 12.1.3 Secuencia del diseño vial urbano

El diseño vial urbano se inicia con la identificación de los objetivos específicos del proyecto, para luego seguir con la identificación de las condicionantes para el diseño (diagnóstico). Posteriormente se inicia el diseño con la composición, que consiste en la forma en que el diseñador dispone las diferentes componentes de las vías urbanas, para satisfacer requerimientos de usuarios motorizados y no motorizados, de manera integral y equilibrada.

Una vez desarrollado el proceso de composición, se procede a dimensionar y especificar las componentes geométricas y operativas que definen la solución vial urbana propuesta. Se concluye con la generación de planos parametrizados con nivel de detalle y precisión acorde a la fase de análisis.

En la fase de definición de alternativas de proyecto, la composición es lo más relevante, mientras que el dimensionamiento y especificación tiene un rol secundario. Luego, en el desarrollo del anteproyecto, se ajusta la composición, y el dimensionamiento adquiere mayor importancia, siendo la fase de especificación y detalles abordada en forma general. Finalmente, en la etapa de diseño, se cierra la composición, se ajusta el dimensionamiento y adquiere gran relevancia la especificación, con los detalles y cotización acabada del proyecto para su posterior construcción.

#### **12.1.4 Condicionantes de diseño**

- Las condicionantes de diseño se definen basándose en las características del entorno, sus usuarios y los aspectos normativos, tanto en la actualidad como las que se puedan estimar para la vida útil del proyecto. Estas condicionantes pueden ser particulares del proyecto y su entorno, o genéricas y aplicables a cualquier lugar dentro del país.
- En general la forma de identificar estas condicionantes y cómo abordarlas en el diseño, se puede observar en documentación especializada en diseño vial urbano, como por ejemplo: REDEVU, HCM 2000, MOP (2013), Ciudad Accesible (2010), etc.

##### **12.1.4.1 Condicionantes generales de diseño**

Son aplicables en cualquier parte del territorio y no dependen de características particulares del lugar, por ejemplo, la caracterización de los usuarios y los vehículos o la normativa y legislación nacional.

##### **12.1.4.2 Condicionantes particulares de diseño**

Dependen de características particulares del lugar afectado o intervenido, como por ejemplo los flujos existentes y proyectados, la topografía y edificación existente, la faja disponible, el espacio público, las actividades de borde y las áreas verdes, entre otras.

## Sección 12.2 Proceso de composición

### 12.2.1 Generalidades

Todo proyecto de diseño vial urbano presenta restricciones físicas y funcionales (relacionadas con la disponibilidad de espacio), económicas (referidas al presupuesto disponible), u otras restricciones, que obligan al diseñador a priorizar y privilegiar ciertas condicionantes por sobre otras.

En un proceso de composición, las recomendaciones y criterios de diseño están orientados a la búsqueda de un equilibrio integral en el diseño de los componentes viales urbanos, que se puede lograr mediante un proceso de análisis con los actores involucrados.

A través de la composición, el diseñador define y ordena las componentes viales urbanas (unidades, fajas, dispositivos y elementos) necesarias para lograr una solución que permita responder de manera eficiente a los objetivos de un proyecto, conocidas las condicionantes de diseño, y los usuarios involucrados.

Como resultado del proceso de composición se obtiene un planteamiento general de la solución a través de su definición conceptual, y perfiles transversales comunes (secciones tipo) y particulares (secciones especiales, con y sin dispositivos).

### 12.2.2 Principios urbanos de composición

De acuerdo a la definición de diseño vial urbano, los componentes involucrados deben ser tratados y ordenados desde una perspectiva de integración (interacción de usuarios en espacios comunes) y equilibrio (tratar con el mismo nivel de importancia a todos los usuarios), considerando a todos los usuarios de las vías urbanas. Los principios de composición se pueden resumir en cuatro aspectos esenciales: funcionales, de unidad y continuidad espacial, de seguridad vial y de significación cultural e histórica.

#### 12.2.2.1 Aspectos funcionales

El sistema de actividades urbano genera viajes de diversos usuarios para realizar las diferentes actividades: trabajo, esparcimiento, etc. Esta diversidad de usuarios en el espacio público urbano, explica la importancia de la accesibilidad universal, concepto propuesto por la normativa nacional, que involucra explícitamente a personas con discapacidad, niños, adultos mayores, entre otros.

Los proyectos y obras de infraestructura de transporte en las ciudades deben tener presente:

- La continuidad de los circuitos peatonales: Las incompatibilidades entre la infraestructura de transporte y el sistema de actividades urbano, pueden afectar la conectividad peatonal, de manera directa (al impedir los desplazamientos peatonales), o de manera indirecta (al producir condiciones de inseguridad ciudadana o vial en estas áreas, que no acogen adecuadamente estos desplazamientos).
- El acceso a las propiedades: Las propiedades que enfrentan la vía intervenida deben poder acceder a ella a nivel de terreno natural.
- La accesibilidad adecuada al transporte público: Los usuarios deben tener acceso expedito y directo a los paraderos de transporte público, sin que, como consecuencia de la implementación de proyectos de infraestructura vial urbana, estos queden ubicados en un nivel o en una posición que implique detrimento, tanto en las condiciones de espera, como de accesibilidad de los usuarios a los servicios de transporte público.

Los recorridos que hacen los peatones desde una faja de caminata hacia un paradero deben estar comunicados a través de un itinerario accesible y seguro para las personas, es decir, dicho trayecto peatonal debe encontrarse libre de obstáculos y permitir el descenso y circulación libre y segura de todos los usuarios.

- Continuidad y conectividad para ciclistas: Debe conformarse un sistema conexo y coherente, conectando orígenes y destinos de manera directa, buscando la continuidad entre intersecciones con rutas asociadas legibles. Además, se deben considerar condiciones de diseño para una conducción segura y cómoda para los ciclistas.

#### **12.2.2.2 Aspectos de unidad y continuidad espacial**

Las obras de infraestructura vial urbana, deben buscar la integración espacial de las avenidas, parques, plazas y demás espacios públicos, y ayudar a ordenar, conformar y realzarlos.

#### **12.2.2.3 Aspectos de seguridad vial**

El tratamiento de la seguridad de los usuarios de las vías urbanas se debe concebir a lo largo de todo el proceso de diseño vial urbano, y por lo tanto, no solo debe concentrarse en el diseño de elementos complementarios a obras de señalización y demarcación.

#### **12.2.2.4 Aspectos de significación cultural e histórica**

Las obras de infraestructura de transporte, deben facilitar la accesibilidad, ordenar y conformar hitos urbanos donde no existen, o no se han consolidado por el proceso de crecimiento de las ciudades. Deben evitar la perturbación del espacio circundante a los hitos urbanos existentes o

consolidados, (tales como: edificios históricos de poderes político-administrativos, de culto, de cultura, espacios ceremoniales, avenidas estructurantes de la ciudad, etc.).

Por ejemplo, la intersección de ejes viales urbanos importantes no sólo debe estar resuelta desde un punto de vista operacional, sino que debe formar parte de un proyecto de diseño urbano que conforme un hito: un lugar memorable con significado urbano.

### 12.2.3 Recomendaciones generales para la composición de vías urbanas

Se enumera a continuación, un listado de recomendaciones básicas de diseño urbano, consistentes con los criterios mencionados anteriormente:

- Emplazar las vías expresas, cuando atraviesen áreas urbanas, consolidadas o potenciales, bajo el nivel de terreno natural (preferentemente cubiertas), de manera de preservar este nivel para la conectividad transversal peatonal (y de usuarios no motorizados en general) y vehicular no expresa.
- Emplazar los cruces entre las vías no expresas y una vía expresa en el nivel de terreno natural, debiendo ser la vía expresa la que se emplace bajo dicho nivel.
- Desnivelar las intersecciones en las áreas urbanas –solución excepcional que se debe aplicar solo si no existe una solución a nivel que resuelva las condicionantes de diseño- bajo el nivel de terreno natural, preservándose este nivel para el desplazamiento de usuarios no motorizados y de esparcimiento.
- Conectar la red vial no expresa con las redes expresas mediante vías laterales continuas, que para los efectos operacionales y funcionales forman parte de la red no expresa.
- Preferir la conexión entre vías expresas y vías no expresas a través de ramales de entrada o de salida que conecten a la calzada lateral, en lugar de la conexión directa mediante lazos con la vialidad transversal.
- En las áreas urbanas, la vialidad no expresa debe tener conexiones transversales peatonales reguladas.
- En las áreas urbanas, la vialidad expresa no debe segregar la actividad urbana de los bordes, por lo que debe tener conexiones transversales. Se preferirán las conexiones a nivel de terreno natural a las que incluyen pasarelas, y preferentemente deben coincidir con la vialidad transversal no expresa.

- En las áreas urbanas se debe privilegiar la continuidad de la red peatonal y de otros usuarios no motorizados, favoreciendo la accesibilidad y seguridad de los peatones en la totalidad del sistema de transporte, especialmente en los puntos de intersección o transferencia con otras redes. Se deben respetar requerimientos asociados a los conceptos de accesibilidad y diseño universal.
- El diseño de un proyecto vial urbano, debe considerar la unidad espacial de avenidas, parques, plazas, y en general espacios públicos donde se emplaza, evitando constituirse en una barrera visual y funcional.
- Cuando el espacio urbano tiene la condición de hito o imagen urbana relevante para la ciudad, las intervenciones sobre el sistema de transporte deben privilegiar la conservación y valorización de los elementos que identifican dicho espacio, favoreciendo la accesibilidad peatonal.

#### **12.2.4 Composición de tramos o segmentos de vías urbanas**

##### **12.2.4.1 Perfil tipo**

Una sección o perfil transversal tipo es una figura que muestra el producto del proceso de composición de todos los componentes viales urbanos (unidades, fajas, dispositivos y elementos), que se mantiene constante a lo largo de un tramo o segmento. Tal representación, transversal con respecto al desarrollo de dichas componentes -y por ende reflejo de la ordenación en planta de dicho tramo-, caracteriza geométrica, operacional y urbanísticamente al tramo tipificado. Esta figura resulta un complemento necesario para juzgar los efectos del diseño en términos urbanísticos.

Definir perfiles tipo de la vía implica precisar las dimensiones transversales de las unidades, tales como calzadas, aceras, separadores y especiales; de las fajas, tales como vereda, ciclovías, pistas comunes, fajas de paisajismo, etc. y las posiciones relativas tanto de estas unidades y fajas, así como las de los elementos de paisajismo, señalización, iluminación, control, seguridad, canalización, segregación, mobiliario urbano y servicios previstos dentro de la faja que los admite, en un ancho disponible para la ejecución de obras. De igual forma, se debe proyectar la ubicación de la línea oficial y de cierre respectiva.

En el proceso de composición, además de los perfiles tipo, también se deben identificar sectores con requerimientos especiales, donde se deben incorporar dispositivos (paraderos, estacionamientos, pistas especiales de viraje, etc.), los que normalmente demandan mayores espacios, siendo muchas veces condicionantes importantes para la solución vial urbana prevista.

Luego, para estas situaciones particulares, en el proceso de composición también se debe determinar el perfil característico del tramo, a lo menos en el sector más exigente.

## 12.2.4.2 Aspectos estéticos de composición

Desde el punto de vista estético, a continuación se citan algunas recomendaciones generales.

- Integración en el lugar. El trazado de una vía debe ser armónico con el conjunto de la ciudad a la cual sirve. Esto no sólo con respecto a la coherencia que debe existir entre la topografía y la geometría en planta y elevación, sino que también en la proporcionalidad que debe existir, tanto entre su perfil tipo y las construcciones que le bordean, como en el tipo de vegetación contemplada. La composición paisajística debe corresponder a la realidad del lugar: más o menos árboles, del tipo que sea típico en la región; más o menos utilización de decoración mineral, etc.
- Punto de fuga. Una vía adquiere un carácter muy especial cuando se orienta hacia algún punto singular: monumento, estructura o paisaje que aparezca en su centro, a la distancia, como un hito notable que la cierra.

En las ciudades chilenas, frecuentemente enclavadas en topografías acentuadas, este efecto suele lograrlo una montaña, un cerro o una cordillera. Este hecho debe aprovecharse en el diseño, ya sea organizando el trazado (urbanización por ejemplo) para realzarlo, o asegurando la vista mediante aberturas en las plantaciones, o impidiendo la construcción de obras cuya estética no compense el deterioro que eventualmente puedan producir a la visión abierta del paisaje natural. Cuando ocurre cualquiera de estos esquemas, los trazados rectos son particularmente propicios.

- Espacios libres y vehiculares. Una cierta parte del ancho de la plataforma debe quedar reservada a los peatones y a los espacios libres.

Una calzada demasiado ancha produce el efecto de una barrera, segregando el sector, tanto física como visualmente. Este efecto se aminora si dicha calzada es bordeada por aceras amplias.

En las secciones pequeñas a medianas (30 metros o menos), el ancho de las superficies destinadas a usuarios motorizados debería representar un máximo de 60% en el ancho del perfil tipo. Esta proporción puede disminuir hasta el 40% en las grandes secciones.

Los espacios libres deben repartirse adecuadamente (siguiendo los criterios de equilibrio e integración) entre las fajas destinadas a usuarios motorizados y no motorizados.

- Perfil asimétrico. Si uno de los lados de la vía presenta un interés particular (fachada comercial, playa, ribera de río, etc.), se recomienda diseñar un perfil asimétrico, en el cual una gran acera, paseo o boulevard, facilitará y estimulará la vida urbana.

#### 12.2.4.3 Recomendaciones para la composición de componentes viales urbanos

##### a) Vías urbanas

El proceso de composición se debe iniciar con la revisión de las condicionantes del proyecto para luego, aplicando los criterios generales de composición, determinar las unidades necesarias y su configuración inicial, y finalmente definir fajas, dispositivos y elementos necesarios para que la solución propuesta responda a las exigencias del diseño vial urbano requerido.

Para lograr lo anterior, a continuación se entrega un listado de recomendaciones de composición que se deben tener presente para el ordenamiento de unidades y fajas de vías urbanas:

- Revisar las condicionantes normativas para obtener categorías de vías, con lo que se tiene un primer antecedente obligado de anchos mínimos de fajas (perfil completo, veredas y calzadas).
- De los antecedentes normativos se pueden también establecer los dispositivos que son permitidos en las categorías de vías involucradas, e incluso obtener algunas de sus características funcionales (por ejemplo: posibilidad de disponer de estacionamientos, posibilidad de incorporar reductores de velocidad, distancias máximas de cruce de calzadas, entre otras).
- Otro dato relevante para el diseño, obtenido a partir de antecedentes normativos, es la velocidad máxima permitida para usuarios motorizados, con lo que se puede definir un estándar a partir de la velocidad de diseño, la que condiciona una parte de la composición (necesidad de segregación o requerimiento de fajas de seguridad) y del dimensionamiento (trazado en calzadas y elementos de seguridad, entre otros) de las componentes viales urbanas.
- A partir de los flujos de diseño determinar requerimientos de fajas vehiculares en tramos e intersecciones, considerando volumen y composición de vehículos y peatones. Identificar requerimientos característicos en tramos e intersecciones, con el objeto de proponer soluciones uniformes para condiciones similares del diseño.
- Revisar especialmente requerimientos de peatones, ciclistas y otros usuarios no motorizados presentes en los sectores intervenidos, y con ello, en función de sus condiciones de diseño (densidad, velocidad, volumen, u otra variable), que no

necesariamente son las actuales, analizar la necesidad de fajas y dispositivos que requieren, tanto en tramos como en intersecciones. Además de identificar estas necesidades, se deben revisar requerimientos específicos de composición de ellos, además de algunas recomendaciones de dimensionamientos generales para facilidades de peatones y ciclistas (REDEVU, entre otros).

- Analizar requerimientos de fajas y dispositivos adicionales a las fajas de desplazamiento, como: estacionamientos, paraderos de transporte público, accesos a lugares de gran demanda peatonal o vehicular, pasos peatonales o de ciclistas en tramos, entre otros. Analizar especialmente requerimientos de emplazamiento y dimensiones generales, para incorporarlas dentro de la composición de los perfiles tipo de tramos y singularidades.
- Identificados los tramos e intersecciones características del proyecto, distribuir las unidades, fajas y dispositivos de manera equilibrada e integrando a todos los usuarios, en cada uno de ellos. Además se deben resolver situaciones particulares que demanden espacios adicionales a las secciones más comunes dentro del trazado.
- Revisar los requerimientos generales del saneamiento superficial del sistema vial intervenido, identificando puntos de evacuación factibles y resolviendo a nivel conceptual el saneamiento superficial, puntos de captación y eventualmente el trazado de colectores subterráneos. En situaciones que se requieran obras especiales de mayor envergadura para el saneamiento, estas puedan demandar espacios para su materialización o mantención, las que deberán quedar establecidas dentro de las fajas necesarias para el perfil propuesto.
- Esta revisión también debe realizarse para las instalaciones de servicios públicos y privados existentes, que pueden verse afectadas por el emplazamiento de fajas y dispositivos viales propuestos, pudiendo ajustarse el emplazamiento de las componentes viales o analizando las soluciones de reposición factibles. De esta revisión preliminar de afecciones pueden resultar demandas de espacios (planta y alzada) que deben ser incorporados en las fajas pertinentes (faja de servicio u otra).
- Analizar, a partir de los requerimientos particulares o locales (normalmente municipios al que pertenecen las vías intervenidas), las necesidades y condiciones de espacios de paisajismo y urbanismo, con el objeto de determinar dónde y cuántas fajas deben disponerse, además de sus anchos necesarios.
- En esta condición, también se debe incluir el análisis de los elementos de iluminación necesarios para calzadas, veredas, ciclovías, paraderos, áreas de descanso, y otras fajas y dispositivos que lo requieran.

- Hay muchos dispositivos que requieren, dependiendo de su entorno, de elementos de mobiliario urbano, los que deben ser considerados en esta etapa, con lo cual se reservan los espacios necesarios para sean accesibles y que presten el servicio adecuado.
- En zonas con cierto valor histórico, cultural o patrimonial, por parte de la vía o de las edificaciones adyacentes, se deben tomar en cuenta las condiciones especiales de diseño (normalmente asociadas a aspectos urbanos), de tal manera de incorporar dispositivos y elementos adecuados, que no sólo mantengan esta condición, sino que más bien las realcen y las integren, especialmente a través de la accesibilidad de los usuarios.
- En los casos en que las condiciones geográficas generen condiciones especiales por lluvias o pendientes fuertes (longitudinales o transversales), se debe analizar la posibilidad de incorporar fajas especiales. Por ejemplo, justificar la incorporación de fajas de ajuste para compensar desniveles transversales, incluso con gradas o muros.
- También, en situaciones de climas adversos, se puede especializar una acera para el saneamiento y escurrimientos de las aguas superficiales (más angosta y fajas especiales de saneamiento) y la otra para peatones y ciclistas (fajas más amplias y protegidas), determinando un perfil asimétrico. Esta definición de perfiles asimétricos, como se ha mencionado anteriormente, también puede responder a principios estéticos de composición.

#### b) Aceras y facilidades peatonales

El proceso de composición de aceras debe realizarse en conjunto con las demás unidades y especialidades. Esta unidad es muy importante en el diseño vial urbano, dado que es donde se desplazan e interactúan los peatones, el principal protagonista de las actividades urbanas.

El tratamiento de peatones, en la determinación y dimensionamiento de las componentes necesarias, debe ser abordado bajo conceptos y exigencias de diseño y accesibilidad universal, condición que debe ser considerada desde la etapa de composición, de manera que se dejen los espacios y dispositivos necesarios incorporados.

Una vez que se conoce la categoría de vía urbana involucrada según la normativa vigente, revisar los requerimientos mínimos de aceras y veredas (anchos) y de los tipos de facilidades especializadas que se pueden considerar en esta unidad.

A partir de las condicionantes de diseño y otros requerimientos, se deben determinar los requisitos urbanos del entorno, para luego definir el rol e importancia del espacio peatonal, cuáles son sus componentes y como éste se relaciona con las demás vías, espacios y usos circundantes.

Esta actividad concluye con la determinación del estándar o nivel de servicio que se espera de esta unidad.

Luego, conocido el espacio peatonal y de otros usuarios no motorizados, además de otras funciones complementarias a la caminata que se deben incorporar en las aceras, se debe proponer de manera preliminar un rango de ancho para la acera.

Cada categoría de acera tiene una capacidad finita para fajas y dispositivos, además, estas fajas presentan dimensiones mínimas que están condicionadas por la función que debe desarrollar dentro de la unidad, por lo que es posible que dos o más fajas funcionales puedan traslaparse.

A partir de la revisión de las consideraciones anteriores, de los objetivos del proyecto y de las condiciones de diseño levantadas, se procede a identificar las fajas que se deben disponer en la acera para cada tramo característico del proyecto, estimando el ancho de esta unidad.

Dentro de este predimensionamiento también se deben incorporar los dispositivos y elementos demandados por el proyecto, tanto por las aceras como por otras facilidades, como por ejemplo paraderos de transporte público o dispositivos de ciclistas que se resuelven en las aceras.

Un aspecto que se debe chequear de manera general es el saneamiento de las aceras, dado que si estas presentan escurrimientos superficiales longitudinales importantes, se deberá generar una faja especial de saneamiento (que se puede superponer con una de ajuste o paisajismo) que es la que permitirá sanear las fajas de circulación (peatonales, ciclistas y otros no motorizados) y drenar a la calzada, cuando las condiciones altimétricas y de borde lo permitan, o directamente a un sumidero que la dirija a un punto de evacuación o de drenaje propiamente tal.

Respecto a la faja de caminata, el ancho definitivo depende del nivel de servicio y capacidad de esta componente, por lo que se debe revisar este requisito a partir de volúmenes peatonales de diseño, velocidades de circulación y densidades de circulación y espera.

Con este último chequeo se finaliza la composición de aceras, determinando las fajas y su disposición, además del predimensionamiento de anchos de éstas y de la acera en general, para cada tramo característico y también los singulares.

Una vez predeterminado el tamaño requerido para las aceras y las fajas que las componen, se procede a compatibilizar la propuesta con las demás facilidades; vehiculares, de transporte público y de bicicletas.

En el caso de puentes, se recomienda considerar desde un comienzo la incorporación de fajas de caminata, de ciclistas y de seguridad en la composición del tablero de la estructura, pudiendo incluso proyectarse de manera asimétrica para lograr la proyección de dichas unidades.

En el caso de que la circulación de modos no motorizados se realice bajo el nivel de terreno natural, se deberá diferenciar altimétricamente los pasillos de circulación respecto de las calzadas vehiculares.

### c) Separadores

El proceso de diseño de separadores involucra la composición, dimensionamiento y especificación de sus componentes y se inicia en el momento en que se definen los requerimientos para el espacio vial urbano que se está interviniendo y se conocen las condicionantes de diseño.

Una vez que se conoce la categoría de vía urbana involucrada, respetando las exigencias normativas, se deben revisar los requerimientos mínimos de medianas y bandejones. En el caso de islas, estas se justifican a partir de requerimientos operativos y de seguridad en intersecciones y otras componentes de cruce o paso de calzadas y ciclovías.

A partir de las condicionantes de diseño y otros requerimientos, se deben determinar los requisitos urbanos del entorno, para luego definir el rol y la importancia del separador, cuáles son sus componentes y como éste se relaciona con las demás vías, espacios y usos circundantes.

Definido el rol, además de otras funciones complementarias que se pueden incorporar en los separadores (por ejemplo ajuste altimétrico), se debe proponer de manera preliminar un rango de ancho para la mediana o el bandejón.

Un separador puede cumplir más de un rol de forma simultánea, pero el diseñador deberá definir cuál es su rol primario. Un tema crítico es evitar sobrecargar el espacio disponible y jerarquizar la distribución de fajas de acuerdo al rol primario definido.

El rol puede cambiar de un tramo a otro en un mismo eje de acuerdo a la integración con el entorno. Esta variación puede incluso ocurrir en un mismo tramo, por ejemplo, el separador puede en un sector dar cabida a un paradero de buses y los flujos peatonales asociados, y posteriormente pasar a ser un separador paisajístico con una línea de arborización.

Se debe recalcar que los anchos mínimos exigidos se aplican en los tramos en que el separador contiene fajas funcionales específicas, y no es necesario aplicarlo a lo largo de todo un eje, especialmente en casos en que el ancho de la vía urbana es restrictivo..

Los separadores pueden incluir circulación peatonal y circulación de vehículos no motorizados, en un área rodeada por vías motorizadas. Por ello siempre se debe incluir una faja de seguridad en cada costado del separador.

Asimismo, en el caso de incluir paisajismo y áreas verdes, se deben considerar tamaños mínimos para que el proceso de mantenimiento evite desplazamientos de operarios en calzada o en la faja de seguridad.

En algunas situaciones, cuando el separador es de categoría especial, además de dar cabida a faja de paisajismo con áreas verdes y arborizaciones, se pueden incorporar fajas más amigables con los peatones, propicias para funciones de desplazamiento, descanso y esparcimiento.

Un aspecto que se debe chequear de manera general es el saneamiento de los separadores, dado que si estos presentan escurrimientos superficiales importantes, se deben generar drenajes a la calzada, pero si estos son longitudinales se deberá implementar una faja especial de saneamiento (que se puede superponer con una de ajuste o paisajismo) que es la que permitirá sanear eventuales fajas de circulación y drenar a la calzada, cuando las condiciones altimétricas y de borde lo permitan.

Cabe mencionar que para el caso de estructuras desniveladas (pasos inferiores, pasos superiores, viaductos, etc.), se debe considerar el perfil futuro de la vía que se desnivela, de tal manera de compatibilizar los proyectos y no generar rigideces futuras productos de los pilares. Una vez definida la estructura, el dimensionamiento de los separadores quedará condicionado por la posición de los apoyos intermedios respectivos.

Respecto a la existencia de faja de caminata en un separador (por ejemplo como circuito de acceso a paraderos centrales), el ancho definitivo depende del nivel de servicio y capacidad de esta componente, por lo que se debe revisar este requisito a partir de volúmenes peatonales de diseño, velocidades de circulación y densidades de circulación y espera.

Una vez predeterminado el tamaño requerido para cada separador del proyecto y las fajas que los componen, se procede a compatibilizar la propuesta con las demás facilidades; vehiculares (motorizados), de peatones, de transporte público y de bicicletas.

#### d) Facilidades para el transporte público por buses

En la determinación de las componentes y dimensiones generales en tramos de vías con presencia de buses, se deben respetar los principios urbanos de composición, los criterios generales de composición de vías urbanas, las recomendaciones especiales de composición de vías urbanas, facilidades peatonales y eventualmente ciclovías.

En paraderos, zonas de transbordos o intercambio, la operación e interacción de los distintos usuarios genera exigencias aún mayores, las que deben ser abordadas en el proceso de composición, generando circuitos peatonales claros y seguros, como también incorporando dispositivos adecuados para paraderos, zonas de transbordo, etc.

También en estos tramos localizados se requiere normalmente de elementos adicionales (refugios, señales, elementos canalizadores, etc.), lo que también requiere de espaciamientos adicionales que se deben tener presente en la fase de composición.

Adicionalmente, se deberá tener presente requerimientos de espacio necesarios para la circulación de buses en pistas o calzadas especiales o compartidas, considerando también las posibles interferencias con otros usuarios motorizados, especialmente en el caso de corredores segregados de buses que generan condiciones especiales en los virajes en intersecciones, o se necesita salir o ingresar al corredor de buses.

Siempre será recomendable realizar una tramificación de la vía involucrada, según características homogéneas. Esta condición también se debe imponer en sectores de paraderos de buses, teniendo la salvedad que un tramo con paradero termina en el lugar en que los peatones se conectan con las aceras del resto del sistema vial. Esta condición es muy importante porque dentro de la composición de estos tramos se deben resolver completamente los circuitos peatonales de acceso a los paraderos y no se deben abordar como componentes aisladas.

Respecto a la definición y ubicación de paraderos, zonas de pago extravehicular, estaciones de intercambio modal, estaciones de transbordo y terminales externos, deben estar adecuadamente justificados, dimensionados y ubicados en el diseño.

Para el diseño, las recomendaciones se deben considerar como una primera aproximación a la solución definitiva, dado que siempre es necesario un análisis complementario en terreno, en el que se verifica si estas propuestas iniciales responden a situaciones particulares del área directamente afectada.

Esta revisión es fundamental en áreas consolidadas, dado que la existencia de edificaciones que concentran usuarios de transporte público, deben ser tomados en cuenta dentro de las condicionantes del proyecto, y no sólo en volumen sino también en los circuitos que realizan entre los accesos y los paraderos. La ubicación de los paraderos debe considerar el análisis de las actividades de borde en el lugar específico de emplazamiento de un paradero.

Una vez definido un sector de paradero de buses, para determinar la ubicación precisa donde se emplaza el paradero (antes o después de cruzar la intersección, antes o después del viraje, antes o después de la zona de alta demanda de pasajeros, etc.), si bien como recomendación general se considera que deben estar lo más cercano a las esquinas o de los centros de concentración de pasajeros, se deben considerar también otros aspectos, como los que a continuación se mencionan:

- Existencia de acceso vehicular a una propiedad.

- Presencia de una estación de servicio.
- Presencia de postes, tensores u otros elementos de instalaciones de servicios.
- Presencia de un área verde consolidada.
- Presencia de un área de servicio consolidada.
- Presencia de quioscos u otro mobiliario urbano consolidado.
- Operación de los buses (directos, virajes, etc.).
- Distancia a la intersección.
- Pendiente transversal en fajas de caminata o andenes no apropiada para peatones.

Además, dentro de los criterios generales que se deben tener en cuenta para la ubicación de un paradero están los siguientes:

- Conectividad: definir circuitos peatonales claros y señalizados entre andenes y fajas de caminata o veredas. Esta comunicación debe realizarse a través de un itinerario accesible y seguro para todas las personas.
- Puntos de atracción de pasajeros: acercar los paraderos de buses a puntos de mayor demanda.
- Seguridad vial: minimizar la cantidad de veces que los peatones cruzan las calzadas en los accesos a los paraderos, respetar distancias de visibilidad, respetar distancias de frenado, etc.
- Seguridad ciudadana: iluminación de paraderos y circuitos peatonales, y evitar zonas de riesgo social.
- Operación del sistema de transporte: considerar cruces y virajes de buses, requerimientos de transbordo de pasajeros, etc.
- Condiciones de circulación de otros vehículos: analizar virajes, volumen vehicular, composición de éste y considerar operación de intersecciones cercanas a los paraderos de buses.
- Interacción con ciclovías u otras facilidades para usuarios no motorizados.

- Entorno urbano: tanto la ubicación como el diseño del paradero debe ser acorde al entorno urbano en donde se emplaza, se deben evitar elementos intrusivos visuales, ambientales, paisajísticos o arquitectónicos.

Respecto a la determinación de los elementos y espacios necesarios en los andenes, estos deben responder al tipo de paradero definido para el eje, su operación y el lugar de emplazamiento (acera o separador). Además, se deben considerar los espacios necesarios para la incorporación de elementos canalizadores (vallas peatonales), señalización, refugios, iluminación, entre otros.

Respecto al tratamiento de peatones en estas zonas, también debe ser abordado bajo conceptos y exigencias de diseño y accesibilidad universal, condición que debe ser considerada desde la etapa de composición.

#### e) Facilidades para ciclistas

Existen tres tipos de ciclovías, diferenciadas de acuerdo a la segregación presente entre los usuarios de bicicletas y los usuarios de modos motorizados.

- Ciclocalle: correspondiente a una vía de tráfico mixto (sin segregación de bicicletas del resto del tráfico).
- Ciclobanda: donde se separa visualmente vía demarcación el sector de la calzada destinado al flujo de bicicletas.
- Ciclopista: donde la segregación entre tipos de usuarios es física, incorporando tachones o separadores.

En la elección del tipo de ciclovía a recomendar, los factores más importantes son: la velocidad del tráfico motorizado, su volumen y composición (camiones, buses, vehículos livianos, etc.), y el volumen del tráfico no motorizado, particularmente de las bicicletas y los peatones. Mientras más alta la velocidad de vehículos motorizados, o su nivel de flujo, o la fracción de vehículos pesados, es mayor la separación necesaria.

Una vez definido el tipo de ciclovía, se deben revisar los principios básicos para su diseño en tramos e intersecciones, buscando que sean coherentes (conexas, continuas, consistentes), directas (que su trazado sea lo más corto y recto posible), atractivas (iluminadas, bien mantenidas), cómodas (con rampas en intersecciones, sin curvas innecesarias) y seguras (evitando conflictos con otros tipos de usuarios, y disminuyendo riesgos en los virajes).

La provisión de ciclovías requiere de una cantidad de espacio suficiente para permitir el desplazamiento seguro y eficiente de los conductores de bicicletas. Sin embargo, en la práctica,

muchas veces se intervienen áreas consolidadas de las ciudades con muy poca disponibilidad de faja, lo que dificulta la posibilidad de cumplir con las exigencias de espacio requeridas.

En estos casos no es recomendable forzar el emplazamiento de la infraestructura flexibilizando las exigencias de diseño, ya sea trabajar con anchos insuficientes, incluir zonas mixtas con peatones, o desarrollar segmentos discontinuos. Esto atenta directamente contra la seguridad, la calidad y, por lo tanto, la usabilidad de la misma. Dependiendo de las características del entorno urbano de las áreas consolidadas en que exista poca disponibilidad de espacio, se recomienda analizar esquemas operacionales que permitan generar condiciones de mayor seguridad para un tráfico mixto compuesto por vehículos motorizados y no motorizados, o evaluar el emplazamiento de las ciclovías en ejes alternativos.

El ancho de la ciclovía se debe obtener de acuerdo a las recomendaciones del REDEVU, sin olvidar las consideraciones de sobrecanchos por situaciones de pendientes longitudinales y curvas horizontales estrechas.

Finalmente, dependiendo de la magnitud de la red de bicicletas, es recomendable analizar la posibilidad de requerimientos de dispositivos y elementos especiales como pueden ser: áreas de estacionamiento y guardado, áreas de descanso u otras, para los que se deben reservar los espacios requeridos para su accesibilidad y operación adecuada.

### **12.2.5 Composición en intersecciones**

En el capítulo 6 del REDEVU, denominado “Zonas vehiculares en intersecciones” se reportan definiciones, antecedentes para el diseño y principios básicos del diseño, que pueden considerarse para la composición de intersecciones urbanas, complementando con aspectos de estética urbana y ambiental, iluminación y saneamiento.

### **12.2.6 Actores y criterios de acuerdo**

La búsqueda de la condición de equilibrio integral involucra a varios actores, los que deben asistir a un proceso de análisis participativo, utilizando instancias de reunión donde se definen los criterios rectores del proceso de diseño y los mecanismos de acuerdo.

Los antecedentes básicos con los que se debe contar para plantear este proceso analítico son:

- Lineamientos de la autoridad política y anhelos de la comunidad.
- Disponibilidad de faja.
- Posibilidad de realizar expropiaciones.

- Presupuesto para obras y expropiaciones.
- Niveles de servicio esperados.
- Otros criterios relevantes (plazos, etc.).

El proceso de acuerdo se inicia con la presentación y fundamentación, por parte del diseñador, de las características necesarias del espacio vehicular, del espacio peatonal, de las facilidades para el transporte público y para ciclistas, y de las áreas verdes.

En la mayoría de los casos estas características necesarias deben ser ajustadas y compatibilizadas entre sí, ya que no se dispone de los recursos, del espacio, o existen otras restricciones que impiden acogerlas íntegramente. De allí que dependiendo del presupuesto, de la faja oficial disponible, de los anhelos de la comunidad o de otro criterio establecido, se deberá llegar a una solución factible.

Este proceso de acuerdo, ajuste y compatibilización se realiza en torno a los niveles de servicio de cada una de las facilidades involucradas (vehiculares motorizadas, peatonales, de ciclistas y de transporte público), tratando de compatibilizarlas de manera que dentro del espacio vial urbano mantengan un equilibrio y ningún grupo de usuarios (conductores, pasajeros, peatones y ciclistas) se sientan discriminado.

Adicionalmente, se puede determinar un nivel de servicio agregado (compuesto por los niveles de servicio de cada tipo de usuario) que representa el nivel de servicio de toda la faja, chequeando que este también se encuentre dentro de rangos de operación razonables. Este indicador es adecuado para comparar alternativas de composiciones de fajas para un sector o tramo determinado.

Lo anterior permite lograr un diseño integral del espacio vial urbano, más equilibrado y justo, consensuado y adecuado a los recursos disponibles.

El proceso de acuerdo involucra un compromiso entre las partes que permite el desarrollo y diseño del proyecto de manera eficiente. Este debiera traducirse, para cada eje o tramo relevante, en la definición de lo siguiente:

- Facilidades que componen el proyecto.
- Rol de la vía.
- Categoría.
- Nivel de servicio de cada instalación.

Los acuerdos alcanzados debieran ser suficientes para seguir con las siguientes etapas de diseño del proyecto (dimensionamiento y especificación), de manera más independiente y expedita.

## Sección 12.3 Prediseño

Se inicia con el bosquejo de composiciones viales en planta que satisfagan las necesidades expresadas en flujos de diseño, o bien resuelvan los problemas de operación que se hayan diagnosticado.

Estas ideas, en ocasiones apoyadas con croquis longitudinales y transversales, son seleccionadas para dejar un número reducido que pasa a nivel de análisis de prediseño.

En los planos que se generan en esta fase de análisis de alternativas preliminares, se debe graficar la ubicación y forma de los elementos vehiculares, peatonales y mixtos constitutivos de la plataforma vial, con un grado de precisión suficiente para prever su factibilidad física, y para calcular presupuestos consistentes con el nivel de análisis que se está abordando.

A continuación se describen las actividades asociadas al proceso de prediseño.

### 12.3.1 Composición de secciones

Para cada una de las alternativas preliminares se desarrolla el proceso de composición anteriormente descrito, orientado principalmente a definir las secciones recomendadas para cada alternativa. Los perfiles deben definir unidades y fajas funcionales para tramos homogéneos del eje involucrado, y solo se abordan los dispositivos y elementos relevantes que tienen gran incidencia en la inversión de cada solución.

### 12.3.2 Trazado

Para cada alternativa de prediseño definida, se emplazan los perfiles, dispositivos y elementos definidos en el proceso de composición anterior, sobre el MSA de prediseño, desarrollando con ello el diseño geométrico de las componentes a nivel de prediseño.

El diseño geométrico se realiza con el apoyo de herramientas de diseño asistido por computador (CAD), lo que permite iterar y afinar los diseños al interactuar con los antecedentes de flujos preliminares, representar adecuadamente los diseños y parametrizaciones, y apoyar el proceso de cuantificación de las obras. Solo en casos justificados podrá elaborarse en formato papel, cuando no se cuente con antecedentes cartográficos digitales en esta etapa de análisis.

En el diseño geométrico de cada alternativa se debe superponer al MSA el plano de diagnóstico integral, asegurando con ello que en el trazado se resuelvan adecuada y eficientemente las condicionantes de diseño.

#### **12.3.2.1 Planta de prediseño**

En primer lugar se seleccionan algunos de los elementos lineales que configuran los bordes o ejes de fajas funcionales (ejes de simetría, bordes de pista o calzada), para establecerlos como guía del diseño gráfico (ejes provisorios) configurando así los ejes de replanteo del anteproyecto, para traducir esos elementos a líneas continuas sobre el MSA.

Una vez que se tiene un tramo con estas referencias gráficas se trazan paralelas definidas por el proceso de composición, de manera de obtener el trazado de fajas funcionales, optimizando el uso de los espacios cuando esté por exceso y haciendo los ajustes pertinentes en caso que no haya cabida del perfil definido, llegando al nivel de requerir expropiaciones en situaciones en que los ajustes no sean suficientes para dar la cabida necesaria al perfil.

Estas líneas deberán mantener continuidad a través de las distintas secciones tipo que las calzadas asociadas puedan presentar a lo largo de su desarrollo; sus extremos deberán ser coincidentes y direccionalmente coherentes con los puntos de las calzadas desde las cuales surgen o a las cuales ellas llegan.

Complementariamente, se deben incorporar al trazado anterior los dispositivos y elementos relevantes, generando los espacios y empalmes necesarios, con el objeto de que la funcionalidad del sistema sea continua, armónica y segura, para todos los usuarios.

#### **12.3.2.2 Elevación de prediseño**

Si la solución geométrica de una alternativa requiere para su definición realizar perfiles longitudinales (enlaces, atraviesos, cortes o terraplenes importantes, etc.), estos se elaboran a partir de la base cartográfica, obteniendo cotas de un eje de referencia parametrizado de la planta, a través de la interpolación con las curvas de nivel o con el apoyo de un modelo tridimensional, en los casos que la topografía cuente con el desarrollo de un modelo digital de terreno en esta fase.

De igual manera, en los casos y sectores que el proyecto lo requiera, se obtendrán perfiles transversales, referidos a los ejes parametrizados en planta y alzada, y distanciados entre sí por 20 metros, aproximadamente.

### 12.3.3 Operacional y seguridad Vial

El alcance del desarrollo del prediseño operacional debe permitir estimar las cantidades de obras requeridas para todo el proyecto y con ello determinar los costos de inversión correspondientes.

La representación del prediseño se realiza a través de una memoria que indica los criterios y normativa de diseño y entrega definiciones que permiten entender la operación del sistema. Se complementa con planos de planta sobre el diseño geométrico, que muestran la demarcación del uso de pistas, flechas con sentidos de tránsito en tramos y de virajes permitidos en intersecciones, indicándose además la regulación de éstas, a través de la incorporación de señales reglamentarias y de la propia demarcación.

### 12.3.4 Arquitectura y paisajismo

En el prediseño físico de alternativas se deben considerar aquellos aspectos urbanísticos, arquitectónicos y ambientales que resulten afectados por las composiciones, con el fin de incorporar, desde el primer momento, factores de costo significativos surgidos de este ámbito.

Para el prediseño es suficiente desarrollar plantas tipo a nivel general y secciones tipo por tramo, más algunos puntos o sectores singulares e intersecciones especiales que se desarrollan a nivel de planta. Las escalas se ajustan al tipo y tamaño del proyecto y las soluciones se acompañan de ejemplos que puedan explicar y representar de mejor manera las alternativas de proyecto planteadas. Del mismo modo se deben acompañar fichas con la localización precisa de cada alternativa y la información general del tramo o del proyecto más algunos antecedentes para dimensionar y cuantificar el proyecto como superficies, materialidades generales y niveles de equipamiento entre otros.

### 12.3.5 Pavimentos

Solo para aquellos proyectos que lo requieran, podrían recomendarse estructuras de pavimentos preliminares para las calzadas, a partir de la categoría de vías, de los antecedentes geotécnicos y de los niveles de flujo pesado estimado. Además se pueden emplear soluciones de pavimentos tipo para veredas y ciclovías.

La representación del proyecto de pavimentos se realiza a través de perfiles esquemáticos de la estructuración propuesta, se complementa con la ubicación en los perfiles de composición y anotaciones en planos de planta cuando exista más de una estructuración.

### 12.3.6 Saneamiento

Deben identificarse las obras de saneamiento requeridas por la alternativa analizada, las que deberán ser consistentes con lo indicado en los planes maestros de aguas lluvias.

En situaciones en que no se cuente con antecedentes de apoyo para la definición del saneamiento de la faja vial, las recomendaciones se obtendrán de la revisión del funcionamiento actual del sistema de drenaje en terreno, considerando la intervención del proyecto y de las medidas de mitigación que deben ser consideradas.

En proyectos en que el saneamiento de la plataforma vial sea una condicionante relevante para el diseño, se procederá a identificar el sistema superficial considerando al menos una planta general con escurrimientos superficiales, además de la ubicación de puntos de captación y evacuación (canales, ríos, quebradas, colectores, entre otros).

### 12.3.7 Modificación y reposición de servicios

Se determina el tipo de reposición recomendado en cada sector afectado (refuerzo, desplazamiento o reemplazo), verificando que sea factible y que se puedan estimar las inversiones correspondientes a la intervención.

Dentro de las obras de reposición se deberán considerar los elementos de iluminación existentes, indicando además la iluminación necesaria para las nuevas fajas funcionales consideradas (pistas en calzadas, veredas en aceras, ciclovías, etc.).

En el caso de las redes de electrificación y telecomunicaciones, se debe identificar y presupuestar la reposición del tendido aéreo y subterráneo sobre la base del número de elementos a trasladar, estimando la reposición de la red subterránea en conjunto con la compañía correspondiente.

### 12.3.8 Estructuras

El tipo de fundaciones, refuerzos, canalizaciones, y otras variables u obras relevantes debe ser respaldado por la opinión de un profesional especialista en la materia, para lo cual se apoyará en los estudios de base desarrollados.

La presentación de las estructuras y obras especiales se realiza sobre el MSA y se ilustra en planos de planta general a una escala adecuada para su cuantificación. Adicionalmente, y en caso de que se requiera, se complementan con perfiles tipo o planos con dimensiones relevantes para su definición y cuantificación.

## 12.3.9 Expropiaciones

Las expropiaciones se identifican sobre el MSA, incorporando dimensiones generales de los predios y construcciones afectadas, superpuestas con la faja vial proyectada. Esto busca identificar la magnitud de afectación sobre el predio, destacando el terreno y las construcciones afectadas.

Para la determinación de la magnitud de afectación, se deben indicar los criterios de expropiación adoptados que permitan estimar correctamente las superficies respectivas.

## 12.3.10 Desvíos de tránsito

Solo si hay alternativas cuya materialización impacta por un tiempo prolongado la vialidad existente o requiera de obras provisionarias costosas, será recomendable cuantificar este efecto, para analizar su incidencia sobre los indicadores de comparación entre alternativas.

## 12.3.11 Inversiones a nivel de prediseño

Cuando el prediseño se desarrolla de manera acabada, un procedimiento válido de estimación de cantidades de obras e inversiones, corresponde a la cuantificación de cada una de las partidas involucradas directamente desde los planos desarrollados, y aplicando valores de precios unitarios levantados en el área de proyecto para esas partidas, obtener las inversiones correspondientes a las obras que definen al prediseño.

Se recomienda el siguiente procedimiento para determinar los montos de inversión:

- Obras viales: de acuerdo a las soluciones propuestas, identificar intervenciones tipo por tramos (apertura, repavimentación, reconstrucción y mejoras), considerando número de calzadas y fajas funcionales. Para cada intervención se define un costo por kilómetro, a partir de precios unitarios levantados para la zona de proyecto y de la estimación de obras requeridas por cada intervención.
- Estructuras y obras especiales: se debe incorporar inversiones asociadas a obras puntuales específicas, para lo cual se deben identificar las soluciones tipo y asignar un monto de inversión consistente, que puede determinarse a través de un costo lineal o por superficie.
- Modificación y reposición de servicios: cuando la reposición de servicios no quedó incorporada dentro de las intervenciones tipo, se deben cuantificar de forma particular, estimando inversiones por kilómetro de las medidas de reposición, en función de las dimensiones de la instalación afectada.

- Expropiaciones: se deben estimar los costos asociados a expropiaciones, a través de la cuantificación de superficie de terreno y construcciones afectadas, ponderándolas por los valores comerciales levantados en el área de proyecto.
- Saneamiento: Para cada intervención se define un costo por kilómetro, a partir de precios unitarios provenientes de estudios previos en la zona y de la estimación de obras requeridas.
- Arquitectura y Paisajismo: La estimación de costos asociados a esta partida, se hace a través de la estimación de un costo lineal por kilómetro o mediante un costo por superficie tomando como referencia estudios previos, o bien por medio de la aplicación de un porcentaje del costo total del proyecto.
- Desvíos de Tránsito: La estimación de costos de esta partida se hace a través de la estimación de un costo lineal por kilómetro tomando como referencia estudios previos o mediante la aplicación de un porcentaje del costo total del proyecto.
- Iluminación: Para cada intervención se deben identificar las soluciones de prediseño y estimar un costo lineal por kilómetro tomando como referencia estudios previos.
- Semaforización: Para cada intervención se deben identificar las soluciones de prediseño y estimar un costo por intersección semaforizada tomando como referencia estudios previos.

## Sección 12.4 Anteproyecto

### 12.4.1 Generalidades

El anteproyecto comienza con la precisión de la geometría y la operación vial del sistema, que se inicia a partir de los resultados y recomendaciones obtenidos de la fase anterior.

El dimensionamiento geométrico de todas las componentes viales urbanas involucradas se debe realizar bajo la normativa vigente, respetando recomendaciones del REDEVU, MOP (2013), MTT (2012), y otros manuales y documentos técnicos, en situaciones en que los manuales anteriores no cubran las necesidades de diseño.

La definición del diseño vial se realiza sobre el MSA de anteproyecto mediante el uso de herramientas de diseño asistido por computador, permitiendo que en cada sección de la vía se pueda emplazar el perfil completo (calzadas, separadores y aceras), para luego validar el espacio disponible para estas unidades y las fajas funcionales que la componen (pistas, veredas,

paisajismo, ciclovías, etc.). En casos que la faja disponible no permita el emplazamiento de las componentes definidas, se debe ajustar en primer lugar el trazado del eje y luego, si el problema persiste, se pueden ajustar las dimensiones de las fajas, respetando los mínimos recomendados.

La representación de la solución vial definitiva referencial para el desarrollo del anteproyecto de todas las obras que la componen se hace a través de un plano de planta general en que se muestran las componentes viales urbanas principales, apoyado de secciones tipo y singulares, destacando además la presencia de obras relevantes.

## 12.4.2 Trazado Geométrico

### 12.4.2.1 Trazado en planta

El trazado geométrico a nivel de anteproyecto parte de la composición gráfica de los elementos constitutivos de la plataforma vial. El objetivo de las tareas que se detallan a continuación es la parametrización geométrica de dicha composición gráfica, de modo que sea posible calcular y replantear las coordenadas  $(x, y)$  de cualquier punto de las superficies vehiculares contempladas, y dibujar los elementos viales de dicho prediseño a partir de la referencia proveniente de un conjunto de ejes de replanteo analíticamente definidos.

Esta actividad se desarrolla a través de aplicaciones de diseño asistido por computador sobre la solución vial definitiva. Solo en casos justificados en que las soluciones geométricas analizadas sean simples de implementar, o los proyectos no consideran definiciones geométricas, se puede trabajar sobre planos en papel.

#### a) Confirmación del sistema de ejes de replanteo

Los ejes o bordes de calzada utilizados en el prediseño deben ser confirmados en la etapa de anteproyecto, o ajustados para facilitar la aplicación de los métodos de cálculo matemático que se dispongan.

#### b) Puntos singulares (PS) de los ejes de replanteo

Estos puntos, cuyas coordenadas deberán ser calculadas en la etapa de anteproyecto, son los de principio y final de cada eje de replanteo, y los de tangencia entre las sucesivas alineaciones en planta que los configuran.

- Puntos de inicio y final de los ejes de replanteo: Si los ejes de replanteo que se definen empalman con la vialidad existente, los puntos de inicio o final que definitiva se consideran como tales son los límites de las faenas de construcción de las calzadas asociadas a dicho eje. Estos pueden ser los puntos de borde u otros, dependiendo ello del

alcance que tengan las obras en la dirección del eje definido, una vez resueltas las zonas de transición entre las secciones transversales de terreno y de proyecto. Si los ejes, en cambio, empiezan o terminan sobre algún elemento vial perteneciente al proyecto -eje o borde de pista- los puntos de inicio y término correspondientes serán los de tangencia o intersección del eje de replanteo con dichos elementos.

- Punto de tangencia entre alineaciones. La posición aproximada de los puntos de tangencia entre las alineaciones rectas, circulares y de transición, proviene del prediseño. Corresponde al nivel de anteproyecto el cálculo de las coordenadas de tangencia  $(x, y)$ . Los procedimientos detallados sobre este tema se encuentran en el REDEVU.

#### c) Representación matemática de los ejes de replanteo

El analista debe hacer los cálculos que le permitan entregar, para cada uno de los ejes de replanteo, los datos que a continuación se describen.

- Distancia al origen ( $D_m$ ) de los puntos singulares: La longitud desde el inicio del eje de replanteo hasta el PS en cuestión, debe ser expresada en metros y con tres decimales.
- Coordenadas de los puntos singulares: Abscisa y ordenada  $(x, y)$  de cada PS, relativas o referidas a coordenadas oficiales, expresadas en metros con tres decimales.
- Acimut de los ejes en puntos singulares: Angulo dextrógiro comprendido entre el norte y la tangente al eje de replanteo en cada PS; en grados centesimales y con cuatro decimales.
- Características de las alineaciones en planta. Tipo de alineación (recta, círculo o clotoide) existente entre dos puntos singulares contiguos; valor del radio de curvatura, con signo positivo o negativo según sea dextrógira o levógira entre dos puntos sucesivos del arco; coordenadas de los centros de las circunferencias utilizadas; valor del parámetro  $A$  de las clotoides, y longitud de las alineaciones constitutivas del eje de replanteo. Todas las longitudes requeridas deben ser dadas en metros y con tres decimales.
- Características de los vértices. Coordenadas  $(x, y)$  de los vértices de la poligonal envolvente del trazado en planta y longitud de la tangente desde el eje a dichos vértices; lo segundo es requisito tanto para el caso de un arco circular directamente tangente a dos lados adyacentes de la poligonal, como para el de un arco circular enlazado a dichos lados mediante curvas de acuerdo (clotoides).

## d) Validación de los ejes de replanteo

Una vez identificados los ejes de replanteo, se procesan los PS y se genera la información solicitada, velando que se cumplan con las condiciones de diseño definidas para el nivel de servicio del proyecto. En esta acción, si se detectan mejoras al diseño vial definitivo, análisis que debe involucrar a todos los usuarios del sistema, se deben implementar y hacer las correcciones geométricas pertinentes.

## e) Configuración de calzadas

Los bordes de calzadas que junto a los ejes de replanteo completan la representación de las mismas, se han configurado en las actividades anteriores. En el anteproyecto corresponde identificarlo adecuadamente dentro del archivo gráfico, revisando que las dimensiones de sus componentes y geometría cumplan con recomendaciones del REDEVU.

## f) Veredas y ciclovías

La continuidad de las vías peatonales y cicloviales debe ser asegurada y las fajas destinadas a tal uso se definen dentro del proceso de composición, incluidos los dispositivos especiales que demandan.

Durante el proceso de desarrollo de la solución vial definitiva, en situaciones en que los anchos disponibles para el proyecto superen las necesidades de éste, se debe ajustar la composición a dimensiones que den mayor nivel de servicio, manteniendo las reservas para eventuales fajas funcionales que puedan surgir luego de materialización del proyecto. Por ejemplo en vías que inicialmente no consideren ciclovías o que en el futuro requieran ajustar su capacidad u operación.

Para el caso de las vías peatonales, se debe tomar en consideración lo indicado en REDEVU, Ciudad Accesible (2010), y la determinación de los niveles de servicio respectivos. En el caso de las ciclovías, se debe considerar lo indicado en el REDEVU.

## g) Intersección de ejes

Las coordenadas  $(x, y)$  de las intersecciones de los ejes de replanteo deben ser calculadas, para establecer las Dm de los puntos de cruce en cada uno de los ejes involucrados, compatibilizar los perfiles longitudinales de los mismos y situar las estructuras que el diseño pudiera contemplar en tales puntos.

## h) Puntos de Perfiles (PP)

El analista debe producir un listado de coordenadas  $(x, y)$  de puntos cada 20 metros, para cada uno de los ejes de replanteo definidos. Estos puntos, como su nombre lo indica, serán aquellos en

los cuales se apoyarán los perfiles transversales de terreno que deben producirse para el trazado en elevación.

i) Datos de replanteo

En el desarrollo de anteproyecto normalmente no se requiere de un proceso de replanteo, actividad que solo es necesaria para la fase de diseño de ingeniería de detalle, sin embargo, considerando que sobre herramientas tipo CAD se presenta el detalle geométrico de todos los elementos gráficos, en los casos que el estudio lo requiera, se podrá generar información de coordenadas  $(x, y)$  de todos los puntos de interés y no solo de los ejes de replanteo y de igual manera se generarán cuadros con la parametrización geométrica de todos los elementos que se definen a través de un alineamiento independiente que no resulte del paralelismo de un eje ya parametrizado.

j) Perfiles tipo y detalles

El Consultor debe detallar gráficamente las características geométricas y materiales de la sección tipo considerada para las calzadas del anteproyecto. Las alteraciones de esta sección tipo, debidas al diseño de dispositivos especiales (pistas de viraje, estacionamientos aislados, ensanches y reducciones y otros), deben quedar descritas por las correspondientes referencias al REDEVU y por los detalles gráficos que se requieran para ello.

#### 12.4.2.2 Trazado en elevación

a) Replanteo de ejes

El punto de partida del trazado en elevación consiste en la obtención de la cota de todos los puntos singulares y de perfil definidos en la planta, sobre los ejes de replanteo.

Este dato se puede obtener a través de herramientas CAD aplicadas sobre un modelo tridimensional de terreno, o en los casos que no se cuente con ello, se obtendrán directamente de nivelaciones de terreno, a partir del replanteo de los ejes correspondientes.

b) Perfiles de terreno

Para cada eje en planta de replanteo se deberá obtener un perfil longitudinal, con cotas relativas u oficiales para cada uno de sus puntos de perfil y puntos singulares, más perfiles transversales basados en los puntos de perfil que cubran la franja topografiada.

## c) Perfiles longitudinales de anteproyecto

El proyectista deberá asociar a cada eje en planta, un perfil longitudinal compuesto por alineaciones rectas y parabólicas, de acuerdo a lo expuesto en el REDEVU. La finalidad de tal procedimiento es acotar verticalmente los puntos de perfil de los ejes en planta, resolviendo la continuidad altimétrica entre calzadas, proyectadas y existentes, y minimizando los costos de construcción en la medida que un buen ajuste entre los perfiles longitudinales de terreno y proyecto lo permita. En el caso de existir estructuras, colectores u otro elemento que requiera resguardo de gálibo vertical, se recomienda incluir en el perfil longitudinal una representación gráfica de estos elementos, que permitan visualizar el cumplimiento de dicho distanciamiento.

Dentro de las condicionantes que se deben tomar en cuenta durante la definición altimétrica de una vía, además de empalmes y accesos de borde, se debe considerar el control de escurrimientos superficiales de aguas lluvias y su evacuación a través de puntos de captación y conducciones enterradas hacia puntos de descarga del área afectada.

## d) Diagramas de curvaturas y peraltes

Se deberá completar la descripción gráfica del trazado en elevación con diagramas de curvaturas y de peraltes. Este último, además de indicar el desnivel relativo de los bordes de calzada con respecto al eje de replanteo, debe informar del ancho de la calzada proyectada y de la ubicación, cuantía y forma de sus variaciones. Generalmente este diagrama complementa al perfil longitudinal de anteproyecto.

## e) Perfiles transversales de anteproyecto

La representación en elevación debe perfeccionarse con la confección de perfiles transversales de las calzadas proyectadas, cada 20 metros y puntos singulares, basados en los perfiles de terreno levantados para tal efecto en cada uno de los puntos de perfil calculados. Estos perfiles transversales deben ser consistentes con los anchos de calzada y pendientes transversales calculados para cada punto de perfil y que son materia de los diagramas de peralte indicados en el REDEVU.

En el análisis de las pendientes transversales de proyecto, además de analizar compatibilidad con accesos y cuellos de borde, se debe considerar la solución de saneamiento de la plataforma vial intervenida, impidiendo el escurrimiento superficial de aguas lluvias hacia el interior del predio privado.

### **12.4.2.3 Operación y seguridad vial**

Para la elaboración del anteproyecto se desarrollan memorias con criterios y especificaciones generales, más planos en planta de los elementos involucrados en la regulación del sistema vial.

Sobre el plano de diseño vial se superponen los elementos de señalización, demarcación y semaforizaciones, además de los elementos y dispositivos de seguridad, acorde a recomendaciones del Manual de Señalización de Tránsito, y considerando siempre la normativa vigente.

Se deben desarrollar los proyectos físicos de las semaforizaciones indicadas, para lo cual se debe proceder según recomendaciones de la UOCT, incorporando requerimientos específicos de sincronismo o SCAT, en los casos que la ubicación de la intersección lo requiriese.

Estos elementos deben cubrir la regulación de pistas e intersecciones vehiculares, peatonales y de ciclistas.

## **12.4.3 Pavimentos**

### **12.4.3.1 Generalidades**

El diseño de pavimentos corresponde a la definición de las características y espesores de las capas ubicadas sobre la subrasante que configuran la estructura de pavimentos.

Los tipos de superestructura a considerar en el anteproyecto surgen tanto de aspectos económicos como del estado de la carpeta de rodado existente (si la hay) y de las posibilidades de suministro de los insumos correspondientes. En tal sentido es posible desagregar los tipos de solución en mejoramiento, repavimentaciones y pavimentos nuevos. Adicionalmente, se deberán incorporar planos en planta de demolición de pavimentos en caso que corresponda, según lo resultante del anteproyecto vial.

### **12.4.3.2 Diseño de pavimentos**

Los requerimientos básicos de información para proceder al diseño de las capas estructurales que componen el firme, se detallan ampliamente en las normas contenidas en MOP (2013) y en MINVU (2008), como así también los demás aspectos del diseño. Estos requerimientos dicen relación con la estimación de las propiedades resistentes del suelo, del índice de serviciabilidad inicial y final del tráfico solicitante, en términos de flujos y ejes equivalentes, y de las características climáticas.

Los procedimientos de diseño de pavimentos flexibles considerarán los correspondientes al método AASHTO, mientras que en el caso de pavimentos de hormigón se deberán establecer las características resultantes del diseño al emplear los métodos AASHTO y PCA, contrastándose ambos resultados.

En cualquier caso deben respetarse las recomendaciones generales y particulares indicadas en MINVU (2008), los documentos oficiales de SERVIU Regionales, y en MOP (2013).

#### **12.4.4 Saneamiento**

A nivel de anteproyecto se deben entregar las dimensiones principales de los elementos que componen las obras de saneamiento, las que deben ser ubicadas en planta y alzada en el caso de obras que lo requieran.

El dimensionamiento de las obras de saneamiento debe obedecer a recomendaciones de la Dirección de Obras Hidráulicas y del SERVIU respectivo. Deben respetarse las recomendaciones del Plan Maestro de Aguas Lluvias, en cuanto a la distribución superficial de las aguas a través de las cuencas y superficies menores, y a los puntos de descarga hacia sistemas mayores de escurrimientos.

En la presencia de obras especiales, estas se deberán dimensionar a través de estudios específicos, y con la participación de un especialista.

El esquema en planta de reposición de estos servicios deberá dejar establecidos los tramos de la red que interfieren con las obras proyectadas, así como el trazado de colectores a proyectar que permitan evitar dicha interferencia. De igual forma, se deberá identificar todos los elementos del sistema de evacuación de aguas lluvias, tanto existentes como proyectados, destacando la dimensión y ubicación de las obras que permiten evacuar las aguas de los puntos bajos generados por el proyecto. La planta deberá identificar, en este último caso, el área aportante considerada para su evacuación.

Adicionalmente, las obras de saneamiento (superficiales y subterráneas) deben ser representadas sobre el proyecto de diseño geométrico-operativo, con el objeto de asegurar que no haya interferencias indeseadas con usuarios no motorizados. Por ejemplo, la ubicación de los puntos de captación de escurrimientos superficiales (normalmente sumideros) no sólo debe obedecer a un criterio hidráulico, sino que deben ubicarse de manera de proteger a los usuarios más vulnerables, es decir, además de ubicarlos en los puntos bajos y donde haya anchos de espejo de agua excesivos. También se deben ubicar aguas arriba de un paso peatonal, de un cambio de bombeo, de un paradero, de una intersección, de una bahía, de la generación de una faja de estacionamiento, de cualquier cruce peatonal o de bicicletas, etc.

En alzado, se debe graficar la solución, en uno o más perfiles longitudinales, de modo que sea posible visualizar el escurrimiento gravitacional con pendientes compatibles con las velocidades mínimas y máximas permitidas por las instituciones que operan y mantienen dichas redes. Un aspecto que requiere ser analizado y resuelto con mayor detalle se refiere a la evacuación de aguas lluvias de los puntos de acumulación de aguas generados por el proyecto. Estos casos deben resolver preferentemente su evacuación mediante escurrimiento gravitacional hacia la red existente o cauces naturales. El análisis en estos casos deberá contemplar la estimación de las áreas aportantes al punto bajo, los caudales que deberán ser evacuados considerando un periodo de retorno definido por el organismo que aprueba el proyecto, y un predimensionamiento de los colectores necesarios para la evacuación. En caso de no ser factible una solución gravitacional, se deberá plantear una solución con planta elevadora, debiéndose en tal caso estimar los parámetros básicos para su dimensionamiento: área aportante, período de retorno, intensidad de lluvias, caudal a evacuar, altura necesaria de elevación y punto de evacuación a la red.

#### 12.4.5 Arquitectura y Paisajismo

Se desarrolla el diseño definitivo, profundizando en la escala, el dimensionamiento, el nivel de detalles, las especificaciones y los presupuestos respectivos. Se deberán considerar los elementos que se desprenden del diagnóstico de la localidad a intervenir, y desarrollarse de acuerdo a tales condicionantes.

En esta etapa el anteproyecto debe ser caracterizado y detallado mediante lo siguiente:

- Plantas generales, a escala 1:500 o 1:250 las especies vegetales, los tipos de pavimentos y los distintos elementos del espacio vial urbano.
- Plantas de detalle, a escala 1:100 detallando elementos especiales.
- Cortes y elevaciones, a escala 1:100 o adecuada, mostrando los perfiles más significativos del tramo y de las áreas especiales.
- Detalles de elementos adicionales, a escala adecuada mostrando los elementos singulares del diseño, tales como mobiliario urbano, disposición especial de pavimentos, fuentes de agua, plantado de especies vegetales, pérgolas y otros elementos.

Se deben considerar las especificaciones técnicas y criterios que los organismos locales posean en esta materia.

## 12.4.6 Modificación y reposición de servicios

### 12.4.6.1 Generalidades

Esta actividad persigue la doble finalidad de asegurar la factibilidad técnica de las obras que se proyectan e identificar y costear la reposición de las interferencias producidas con las redes de servicios públicos. Lo primero se logra mediante el diseño físico de las modificaciones, basándose en los criterios técnicos que imponen los organismos que operan y mantienen las redes de servicios. Lo segundo requiere de una cubicación y presupuesto de los ítems involucrados, obtenidos ya sea por el propio proyectista o bien por solicitud a la compañía correspondiente.

El nivel de detalle exigido dependerá de la magnitud de las interferencias localizadas y de su grado de compromiso con las obras viales que se proyectan. Es así como, para aquellos servicios cuya reposición debe ser resuelta por el proyectista, debe tener especial importancia resolver aquellos conflictos que comprometen la solución vial, identificando el trazado actual de la red comprometida tanto en planta como en altimetría, resolviendo de igual forma el desvío o traslado a proyectar y estimando los montos de inversión correspondientes.

El criterio básico para definir las obras de reposición de servicios es el de mantener la calidad y capacidad de la red existente, debiendo justificarse técnica y económicamente la adopción de mejoras. Las obras se deben desarrollar de acuerdo a exigencias de los organismos correspondientes que aprueban los anteproyectos respectivos. Estas últimas deberán quedar explícitamente identificadas mediante cubicación y presupuestos diferenciados del resto de las modificaciones.

### 12.4.6.2 Red de aguas servidas

La identificación de las interferencias entre las distintas obras consideradas en el anteproyecto y las redes subterráneas de los servicios existentes surge de la comparación de la monografía correspondiente con la planta y alzado del anteproyecto en elaboración. Esta interferencia puede abarcar desde la modificación de altura de las cámaras hasta el cambio de trazado de uno o más tramos de las redes existentes. El primer caso resulta típicamente de obras de repavimentación, ensanche o habilitación de nuevas calzadas, el segundo se genera normalmente ante obras de modificación sustancial de rasantes.

### 12.4.6.3 Red de agua potable

La necesidad de modificar el trazado de parte de una red de agua potable o de reforzarla, surge generalmente ante la implementación de ensanches de calzadas vehiculares, habilitación de nuevas calzadas, o modificaciones de rasantes. La ubicación en planta y alzado de las tuberías, cámaras de válvulas y otros elementos que conforman la red, permitirá, en comparación con las

características geométricas de las obras que se proyectan, delimitar los tramos de la red afectados por ellas. La reposición considera generalmente el traslado de una o más tuberías o el refuerzo de otras que necesariamente queden bajo la calzada vehicular. En aquellos sectores de cruces de cañerías bajo calzadas vehiculares que serán objeto de modificación de rasante (pavimentación o repavimentación) se deberá entregar un perfil longitudinal en el que se visualice la rasante actual y proyectada y las líneas de curvas y fondo de la cañería. En caso de considerarse algún refuerzo, este se incluye en dicho perfil. Los detalles mínimos que deben incluirse en la memoria y planos del estudio serán: longitud, diámetro y ubicación de las cañerías y cámaras que queden fuera de servicio; longitud, diámetro y ubicación de las cañerías proyectadas; ubicación de cañerías que deban ser reforzadas y dimensiones del refuerzo, y ubicación de grifos que deban ser trasladados.

#### **12.4.6.4 Canales**

Aquellos canales que interfieran con las obras contempladas en el anteproyecto requieren modificaciones de su trazado en planta y alzado, o bien ser reacondicionados a las nuevas características de la solución. El nivel de detalle exigido dependerá de la magnitud de la interferencia provocada. Sin embargo, el proyectista deberá en cada caso demostrar técnicamente que la modificación proyectada presenta una capacidad hidráulica similar o mayor a la existente mediante los cálculos necesarios para tal efecto. Se incluyen, por lo tanto, los perfiles longitudinales de cauces y obras subterráneas que permitan visualizar los niveles de fondo y clave, eje hidráulico en el caso de canales abiertos y rasantes de la vialidad comprometida.

#### **12.4.6.5 Otros servicios**

Las eventuales modificaciones o reposiciones de los servicios de iluminación, electrificación, gas y telecomunicaciones, cuyos anteproyectos se deben desarrollar de acuerdo a exigencias de los organismos correspondientes, deben indicar con claridad los elementos afectados y el tipo de acción de reposición propuesto. A partir de esto se deben estimar las obras y presupuesto de la reposición considerada.

### **12.4.7 Estructuras y obras especiales**

#### **12.4.7.1 Generalidades**

El diseño físico de las estructuras (puentes, pasos y muros) y obras especiales (túneles, defensas fluviales, obras ferroviarias, etc.) contenidas en el anteproyecto tiene como objetivos principales definir su geometría y constitución material, para efectos descriptivos y de cubriciones y presupuesto, y también garantizar la factibilidad técnica de la solución adoptada.

Para cada estructura u obras especiales necesarias para materializar la solución recomendada, se debe justificar el tipo de solución y materiales adoptados, definir su emplazamiento y dimensiones relevantes, todo bajo condiciones urbanas de diseño que velen por asegurar la adecuada continuidad de circuitos peatonales y eviten elementos intrusivos o segregadores, respondiendo al entorno en que se emplazan.

En algunos casos, se puede generar un hito urbano de acuerdo al sector en que se emplacen, por ejemplo un enlace en un acceso de una ciudad o una pasarela en un sector céntrico.

El anteproyecto de dichas obras debe figurar en los planos de detalle del trazado tanto en planta como en alzado. Sin embargo se presenta además como un anteproyecto independiente a escalas mayores. La definición de los elementos que componen las estructuras y obras especiales se encuentran indicadas en MOP (2013), SECTRA (2003), entre otros.

#### **12.4.7.2 Diseño**

Los estudios básicos necesarios en relación a la topografía requerida en estos casos, ya han sido detallados anteriormente, sin embargo, para el caso de puentes se deberá establecer la sección normal del cauce a salvar y el nivel de aguas máximas en dicho cauce. Ello podrá ser establecido mediante la recopilación de antecedentes de proyectos similares desarrollados en el área. Por otra parte, en el acápite 9.2.2 se describen los antecedentes básicos a relevar en el caso de la mecánica de suelos.

Los procedimientos y normas de diseño estructural quedan fuera del ámbito de este Manual, debiendo el proyectista cumplir con las exigencias vigentes en esta materia, impuestas por el Departamento de Puentes de la Dirección de Vialidad, la Empresa de Ferrocarriles del Estado o la institución competente que corresponda. Para efecto del anteproyecto de estructuras, se desarrollarán los estudios necesarios, sobre la base de la exigencia del especialista tanto en la estructuración de la obra como en su dimensionamiento, exigiéndose sin embargo la justificación técnica de los elementos que controlen la rasante de la obra, y el gálibo permitido bajo ella.

Bajo estructuras, las calzadas deberán contemplar luces libres, tanto en sentido horizontal como vertical, según lo expresado en el REDEVU, el Volumen 3 de MOP (2013), Sectra (2003), entre otros. Las alternativas deben combinar el número de tramos con las alturas de viga y tablero.

El nivel de detalle del diseño físico deberá permitir definir y cubicar los materiales básicos involucrados a la obra, tanto en infraestructura como en superestructura.

## 12.4.8 Expropiaciones

### 12.4.8.1 Identificación de propiedades afectadas

Cuando los anteproyectos planteen expropiaciones, se deberá recabar la información que permita individualizar la propiedad, transcribiendo los siguientes datos, provenientes del Departamento de Avaluaciones del Servicio de Impuestos Internos y de la inspección visual en terreno: dirección, rol de propiedad SII, destino y avalúo fiscal. Se deberá precisar si la afección compromete parte o la totalidad de la propiedad, y de las construcciones o instalaciones existentes. En todos los casos es necesario establecer las superficies de terreno y las superficies edificadas que serán objeto de expropiación. Además deberá consignarse para cada propiedad la calidad y tipo de edificación. En caso de ser necesario, se recopilan antecedentes legales y administrativos de los lotes afectados.

### 12.4.8.2 Valor del terreno

Se puede establecer sobre la base de la tasación del Departamento de Avaluaciones del Servicio de Impuestos Internos, corregido por un coeficiente de ajuste entre la tasación fiscal y el valor de mercado. Este último, a su vez, se deduce de la comparación entre transacciones realizadas en fecha reciente en el área de estudio con su respectivo avalúo fiscal. Otra fuente de información es la que manejan las oficinas de corretaje de propiedades.

### 12.4.8.3 Valor de la edificación

Para establecer el valor de expropiación de una edificación, se procederá a identificar sus características (estructura, especificaciones de su obra gruesa y de las terminaciones, altura, etc.). Luego se establece el “valor de reposición”, que es lo que costaría construir la edificación en el momento de la tasación. Para ello, conociendo las características descritas más arriba, se puede acudir a tablas de precios globales por metro cuadrado disponibles en Municipalidades, MINVU y bancos comerciales.

Conocido el valor de reposición se estima la antigüedad de la edificación y se aplica el coeficiente de depreciación por antigüedad. Existen otros factores o criterios de depreciación, como el estado de conservación, materialidad y la ubicación respecto a su entorno.

### 12.4.9 Desvíos de tránsito

En el diseño de los esquemas, vinculados a la definición de la programación de las obras que demanda cada alternativa estudiada, se tendrá en cuenta:

- Operar con una proporción significativa de la capacidad, evitando la ejecución simultánea de faenas restrictivas en diversos accesos o tramos.

- Preservar el acceso a la propiedad adyacente y condiciones de seguridad para los movimientos peatonales.
- Dar prioridad al transporte público en las vías cuya capacidad se vea reducida, incluso proveyendo pistas de uso exclusivo.

El desarrollo de estos esquemas deberá estar de acuerdo a lo indicado en el Capítulo 5 del Manual de Señalización de Tránsito.

#### **12.4.10 Iluminación**

El anteproyecto debe considerar la nueva iluminación necesaria para las fajas funcionales proyectadas (pistas vehiculares, veredas, ciclovías, etc.) emplazando en planta la ubicación de cada postes con sus respectivos empalmes, compatibilizando la luminaria con su entorno y la identidad del sector.

#### **12.4.11 Inversiones a nivel de anteproyecto**

Las cantidades de obras y precios unitarios, permiten generar los presupuestos por obras y globales del estudio. También si las características del estudio lo ameritan, deben entregarse costos por tramos del proyecto, especialmente si se analiza su implementación por etapas.

En proyectos con movimientos de tierra asociados a la geometría de la subrasante, se deberán reportar cuadros de cubicaciones y generar bordes de cortes y terraplenes, apoyándose preferentemente de aplicaciones CAD que usan modelos tridimensionales de terreno.

Para el caso de los anteproyectos de operación y seguridad Vial, pavimentos, saneamiento, arquitectura y paisajismo, semaforización y estructuras y obras especiales, la determinación de las inversiones se realiza según cubicación e itemizado de cada proyecto en particular.

El anteproyecto de modificación y reposición de servicios considera un costo estimado tomando como referencia estudios previos.

En el caso del anteproyecto de expropiaciones, la determinación de las inversiones se basa en la cubicación de superficies de terreno y construcción afectados, y el costo estimado por superficie tomando como referencia valores comerciales promedios.

Para los anteproyectos de desvíos de tránsito e iluminación, la determinación de las inversiones se realiza mediante la estimación de costo lineal por kilómetro, tomando como referencia estudios previos o la aplicación de un porcentaje del costo total del proyecto.

Para facilitar la revisión y flexibilizar ajustes al proyecto propuesto se recomienda generar un plano que muestre, a través de elementos puntuales, lineales y superficiales, debidamente identificados, el respaldo de las cantidades cubicadas en planta (superficies de pavimentos, expropiaciones o áreas verdes, soleras, demarcación, postación, vallas, etc.).

El respaldo de las cantidades de obras e inversiones se reporta en planos de cubicaciones y planillas detalladas, con hojas de resúmenes por obras y tramos, según se requiera.

## **Sección 12.5 Interacción entre el diseño y la modelación de transporte**

Este proceso parte con la definición y desarrollo de una solución inicial y sigue con un proceso iterativo entre diseño y modelación, que tiene como fin la validación del diseño vial mediante el uso de los modelos de transporte (particularmente microscópicos y mesoscópicos).

Dicha modelación entrega los elementos necesarios para hacer ajustes al diseño, permitiendo afinar y validar los aspectos que afectan directamente la operación de tránsito vehicular y peatonal.

### **12.5.1 Flujos de diseño**

La formulación y desarrollo de alternativas requiere dimensionar las obras, para lo cual se utilizan los flujos de diseño que se obtienen a partir de los resultados de la modelación de transporte.

Se debe destacar que el dimensionamiento de las obras permanecerá constante a lo largo del periodo de análisis, teniendo claro que la selección de los flujos de diseño podrá condicionar la evaluación. Hay que destacar el doble carácter de los flujos de diseño: por una parte, son un dato inicial del proceso de diseño y evaluación y, por otra, constituyen un límite para el resultado del proceso.

Dentro de este esquema general, el cálculo de los flujos de diseño considera la aplicación de procedimientos distintos, dependiendo del tipo de proyecto. Sin embargo, en todos los casos, los flujos de diseño deberán ser expresados en términos de vehículos equivalentes por hora, junto con la composición por categoría de vehículo.

#### **12.5.1.1 Proyectos sin reasignación de flujos**

Los proyectos sin reasignación de flujos corresponden a proyectos de ámbito local cuyo propósito principal es resolver problemas de subutilización de capacidad (por ejemplo, cuellos de botella) o

efectuar cambios en la capacidad, aunque de alcance restringido. En consecuencia, la dimensión del proyecto debe ser consistente con la demanda que puede absorber el área circundante y proveer una reserva suficiente para que eventuales mejoras futuras en la zona no obliguen a hacer intervenciones en el mismo lugar.

En los proyectos de gestión de tránsito, la componente de diseño físico es relativamente pequeña y el horizonte de evaluación es próximo. Se recomienda utilizar como flujo de diseño, el máximo flujo horario resultante entre todos los periodos punta modelados para el primer corte temporal, considerando una capacidad de reserva del 10%.

En los proyectos que consideren una componente de infraestructura mayor, es aconsejable establecer una capacidad de reserva mayor, sin perjuicio de conservar cierta homogeneidad con los accesos al área de proyecto. De esta manera, al máximo valor resultante para la modelación de los periodos punta, se le podrá aplicar una capacidad de reserva del 25%.

### **12.5.1.2 Proyectos con reasignación de flujos**

Cuando el proyecto genere cambios en la asignación, como en el caso de proyectos que consideran la habilitación de nueva vialidad o cambios en los sentidos de tránsito, el cálculo de los flujos de diseño se deberá realizar a partir de la información de flujo sobre la situación con proyecto modelada en los cortes temporales futuros. De observarse sobresaturación, se deberá considerar la modelación del año anterior al año de saturación. En cualquier caso, se recomienda utilizar una capacidad de reserva del 15%.

El resultado de esta modelación indicará también el conjunto de intersecciones o ejes viales que deben modificar sus características operacionales, principalmente en cuanto a la semaforización de intersecciones, y la implementación de pistas cortas, entre otras, lo cual deberá ser determinado con los resultados de esta modelación y los procedimientos que se describen posteriormente.

Así, en forma coordinada con el desarrollo de las actividades de modelación de transporte, se deben generar los antecedentes necesarios de demanda y flujos vehiculares que permitan validar y afinar el diseño físico y operativo de los ejes e intersecciones incorporadas en el área de estudio.

## **Sección 12.6 Diseño Operacional**

### **12.6.1 Introducción**

El diseño operacional es una actividad que busca optimizar las condiciones de uso de la infraestructura vial. Dada la multiplicidad de conflictos, el espacio de soluciones factibles es

sumamente extenso, lo que hace necesario acotar el alcance de la optimización y combinar la perspectiva de conflictos locales con una visión coherente de red. Esto supone definir una estrategia para el tratamiento de conflictos similares en diversos puntos, concordante con los objetivos del proyecto (por ejemplo, priorización de cierto tipo de usuarios).

Los impactos en que se basa la evaluación de un proyecto dependen tanto de las características de la infraestructura como de sus formas de uso. Entonces, si bien el diseño operacional se realiza para un diseño físico dado, es de evidente conveniencia permitir una interacción entre ambos. Formalmente, esta puede llevarse a cabo una vez simulada cada alternativa, introduciéndose los ajustes y volviendo a simular.

Aunque en la concepción del diseño operacional se use un método relativamente estructurado y apoyado por el diagnóstico y la estimación preliminar de impactos, el proceso involucra muchas medidas cuyos efectos se entrelazan de manera difícil de apreciar a simple vista. Traducido el diseño a un modelo matemático, la simulación de la red correspondiente aportará elementos cuantitativos para juzgar los impactos. En consecuencia, más allá de la interacción con el diseño físico mencionada en el párrafo anterior, el diseño operacional incorpora en sí mismo la simulación como un proceso iterativo.

Definidas las medidas que constituyen el diseño físico operacional para cada solución, se procede a modelar las redes correspondientes que serán simuladas, siguiendo las indicaciones del Capítulo 10. Para facilitar esta tarea es importante que haya claridad sobre las regulaciones establecidas para cada movimiento, si ellas significan cambios frente a la situación actual simulada. Se sugiere confeccionar una tabla en que se resuman estos cambios, indicando para cada movimiento afectado qué ha variado: su longitud y ruta de recorrido, factores que influyen sobre la velocidad, la capacidad o la seguridad. Asimismo, debe indicarse si los cambios son o no constantes entre períodos. Particular atención debe prestarse a movimientos que participan en conflictos típicamente críticos: virajes con oposición, paradas de buses con alta fricción, cruces con escasa visibilidad.

### **12.6.2 Control de tránsito**

La justificación de la regulación radica en la existencia de conflictos entre corrientes vehiculares. Su objetivo entonces, es evitarlos o crear condiciones en las cuales sus consecuencias son menos perjudiciales. Los conflictos se producen localmente en combinaciones diversas y con intensidad también variable, pero son causados en general por un número reducido de situaciones físicas. Esto da pie a un enfoque que aúna normas de carácter general a aplicar en un área y medidas específicas para cada lugar.

Una estrategia de control se define como un conjunto de criterios orientados a resolver los conflictos del área de estudio. Las medidas planteadas para lograr esta estrategia de control forman parte del diseño operacional del proyecto. Para que haya coherencia con los conflictos este conjunto de medidas puede ser variable entre períodos.

La línea principal de acción es separar conflictos, especializando parte del espacio vial para movimientos o usuarios determinados (actuales y potenciales). Esta especialización debe ser coherente tanto con la importancia de los conflictos detectados en el diagnóstico integral como con la relevancia de la vía para cada tipo de usuario involucrado. De aquí pueden derivarse medidas de prohibición o segregación de ciertos movimientos, de dedicación exclusiva de ciertas vías a determinados tipos de usuarios, etc.

Dada una estrategia de control, hay que abordar el tratamiento de los conflictos locales. Aquí cobra importancia la intensidad particular de éstos, que es altamente dependiente del flujo de cada movimiento. En proyectos con reasignación, el flujo es sensible al diseño operacional, por lo que debe preferirse un tratamiento homogéneo, concordante con la estrategia, en lugar de un análisis muy detallado basado en la mitigación de conflictos puntuales. En proyectos sin reasignación, la generación de medidas de control local es más directa, pues es en general sencillo vincularla al problema local mismo.

En proyectos de gestión, que son los que reciben un diseño operacional con mayor profundidad, es recomendable ir más allá de la aplicación de la estrategia de control. Esta puede afectar negativamente la accesibilidad, lo que puede ser compensado hasta cierto punto con medidas complementarias. Por ejemplo, si se han quitado estacionamientos en algunas calles, se pueden crear otros en calles que, según la simulación, tengan suficiente capacidad ociosa. Es decir, es legítimo también aumentar los conflictos donde sus consecuencias no se prevén importantes para la circulación pero sí beneficiosas para la accesibilidad.

Independientemente del tipo de proyecto, es necesario que la estrategia de control responda adecuadamente a las necesidades de accesibilidad y resguarde la seguridad de los usuarios afectados.

Las estrategias de control pueden implementarse utilizando herramientas de carácter físico, económico o de gestión, cuya combinación no es arbitraria ni fácilmente sistematizable, viéndose condicionada por las características del proyecto, y la variación de los conflictos en el tiempo. Siendo la definición de una estrategia de control una labor eminentemente conceptual, se recomienda que el analista haga explícitos los criterios esenciales que la conforman, para respaldar la elección de las medidas planteadas.

### 12.6.3 Medidas de control del uso de las vías

#### 12.6.3.1 Sentido de circulación de tránsito

Una vía puede tener sentido único, doble o reversible. El sentido único contribuye a aumentar la capacidad, especialmente al evitar virajes con oposición en las intersecciones. Sin embargo, reduce la accesibilidad obligando a hacer mayores recorridos para llegar a cierto lugar, tanto a automovilistas como a usuarios de transporte público. La reversibilidad es una alternativa de interés en vías de alta capacidad para acomodarse a variaciones de los patrones de flujos entre horas del día, y requiere de un sólido apoyo de señalización y fiscalización. En general, cambios de sentido producen reasignaciones de flujos, por lo que en proyectos que no contemplen el uso de modelos de asignación de tránsito, éstos pueden ser introducidos, pero solo cuando los rerruteos que provocan sean limitados y evidentes.

#### 12.6.3.2 Restricciones de acceso

Existen restricciones de acceso físicas y económicas. Las de tipo físico pueden ser absolutas, cuando significan prohibición de ingreso a ciertas categorías de vehículos, o parciales, cuando discriminan a vehículos en condiciones determinadas: límite de peso, taxis sin pasajeros, vías solo bus, etc. Cuando la restricción es de carácter económico, mediante algún sistema tarifario, se debe analizar si el impacto puede ser significativo sobre la estructura de la demanda; en cuyo caso, la medida se enmarca en proyectos estructurales de gestión. Si no, el análisis puede ser llevado a cabo como proyecto no estructural con reasignación.

#### 12.6.3.3 Límite de velocidad y maniobras

Los impactos de medidas en este terreno son de difícil pronóstico y de importancia marginal para proyectos de la magnitud de los que cubre este manual, salvo si se persigue una reducción de la tasa de accidentes. En el caso de que se disponga de antecedentes para justificar su adopción y estimar sus resultados, podrán ser consideradas en el diseño operacional, siempre que sean aplicadas en todas las alternativas que se están comparando.

#### 12.6.3.4 Asignación de pistas

Cuando hay doble sentido de tránsito, o este es reversible hay que definir una asignación de las pistas disponibles. Si hay desequilibrio permanente de los flujos por sentido es recomendable considerar una disposición asimétrica, sujeta a una debida apreciación de su efecto estético en la configuración del paisaje urbano. Pero las medidas de mayor interés dentro de esta variable de control dicen relación con la implantación de pistas de uso exclusivo para buses, bicicletas u otras categorías especiales de vehículos. En todo caso, la asignación de pistas induce impactos sobre la

velocidad de recorrido y, cuando hay pistas de uso exclusivo, sobre la accesibilidad a la propiedad circundante, aspecto que debe ser adecuadamente considerado en el diseño. A la vez, al generarse variaciones en la capacidad de las vías y de las intersecciones adyacentes, suelen surgir reasignaciones de flujos.

### **12.6.3.5 Regulación de estacionamientos en la calzada**

La aplicación de esta medida trae aparejados cambios en la demanda, de mayor o menor magnitud según sean la extensión del área afectada y la proximidad de lugares alternativos con capacidad ociosa; así como mejoras en la velocidad debido al mayor espacio de circulación y la eliminación de interferencias debido a las maniobras de estacionamiento.

En el caso de tarificar los estacionamientos, se puede generar un menor tiempo de uso, aumentando la rotación y con ello las maniobras de estacionamiento, lo cual puede producir una mayor fricción con el tránsito que circula por la vía.

Un caso particular lo representa el caso de carga y descarga. Siendo conceptualmente similar al estacionamiento, una diferencia práctica es decisiva: no es factible prohibirla por completo sin erradicar del área los usos del suelo que la requieren. La regulación entonces, sólo tiene sentido en cuanto a limitar los horarios en que se autoriza.

### **12.6.3.6 Paradas de transporte público**

Tanto la localización de las paradas como su diseño deben ser tenidos en cuenta en aquellos ejes cuyo flujo de transporte público sea relevante, especialmente de buses. Paraderos de alta actividad muy cercanos a la línea de detención en una intersección semaforizada, no son recomendables debido a la influencia negativa que aportan a la capacidad del acceso respectivo y a la interferencia que generan con los virajes. En vías con operación de transporte público especialmente intensa, puede considerarse la definición de paradas divididas, es decir, definir paraderos alternados en que solo un subconjunto de los recorridos se detiene.

En proyectos de infraestructura, conviene tener en cuenta que si se ensancha una vía en que actualmente hay paraderos que producen estrangulamientos, se producirán cambios en la velocidad de los restantes usuarios.

En los proyectos de gestión, en áreas con presencia relevante de transporte público, ya sea buses o taxis colectivos, la situación de los paraderos debe ser detalladamente analizada, buscando mejoras tanto en el nivel de servicio del paradero, en la seguridad de sus pasajeros y en la interferencia con el resto de tráfico.

Finalmente, en los proyectos de corredores y vías exclusivas de transporte público, el diseño y localización de los paraderos puede resultar crucial en la operación de los servicios. La capacidad del paradero estará influenciada por el número de sitios de atención de buses y los tiempos de transferencia de los pasajeros (subida y bajada). Los paraderos con pago de tarifa antes de abordar el bus (zonas pagas), reducen en forma significativa el tiempo de estadía de cada bus en el paradero, y, con ello, el tiempo total de viaje, aunque para su justificación debe tenerse en cuenta el costo de implementación y operación de dicho sistema.

#### **12.6.4 Medidas de control del uso de intersecciones**

##### **12.6.4.1 Tipos de control**

Una intersección puede estar regulada de dos formas: semáforo o señal de prioridad. Dentro de las regulaciones de prioridad se encuentran las señales pare y ceda el paso.

Los criterios para elegir la forma de control se establecen en MTT (2012).

##### **12.6.4.2 Prohibición de movimientos**

Esta medida puede adoptarse buscando mejorar la eficiencia de la operación del área de estudio o la seguridad de los usuarios de la intersección. Prohibir un movimiento (o autorizar uno previamente prohibido) es un tema delicado, que significa añadir o eliminar conflictos no solo en las intersecciones directamente afectadas, sino también, en otros sectores, producto de los efectos de red. Esta medida altera también la capacidad de la intersección afectada, lo que debe ser adecuadamente considerado por el analista.

##### **12.6.4.3 Uso de pistas**

Si bien los movimientos autorizados en cada rama de una intersección gozan de libertad para usar las pistas disponibles, excepto que haya segregación física, es posible inducir un comportamiento que mejore las condiciones de operación observadas, a través de la regulación. Esta regulación tiene dos dimensiones: cantidad de pistas disponibles y asignación de usos.

###### **a) Cantidad de pistas**

En ciertos rangos, el ancho de una rama admite más de una combinación de número de pistas y ancho individual. Puede incluirse el estudio de alternativas al respecto, teniendo en cuenta los requerimientos de las categorías de vehículos presentes y la velocidad de recorrido. Otra posibilidad, es ensanchar la calzada en las proximidades de la intersección, creando pistas especiales de viraje. Su longitud es importante porque de ella depende la contribución efectiva a

la capacidad de la rama; en intersecciones semaforizadas, la longitud óptima está relacionada con la programación del semáforo.

## b) Asignación de usos

Hay dos posibilidades: uso exclusivo o compartido. La elección de uno de ellos está relacionada con la estrategia de control definida para resolver los conflictos observados. La efectividad de las pistas de uso exclusivo se garantiza mediante canalizaciones o fases especiales. En otro caso, es preferible suponer uso compartido, dentro de las lógicas restricciones de seguridad para establecer qué movimientos pueden usar cada pista.

En las áreas urbanas existen restricciones de faja que limitan la posibilidad de materializar las pistas de viraje, por lo que su pertinencia debe ser considerada en el proceso de composición de las unidades viales. Para ello, en lo que sigue se presentan criterios para la justificación y dimensionamiento de pistas auxiliares de virajes en intersecciones.

- Pista de viraje a la izquierda

La provisión de una pista de viraje a la izquierda desde una rama de acceso principal, hace que la circulación de vehículos por la vialidad sea más segura, ya que con ella se evita la necesidad de que los vehículos que viran, se detengan, o en su defecto, que circulen a muy baja velocidad, evitando así una de las principales causas de accidentes de tránsito en las áreas urbanas. Este beneficio indirecto, asociado a la seguridad, aumenta mientras mayor sea la velocidad de diseño de la vía, reduciendo en gran medida la incidencia y la gravedad de las colisiones por alcance.

Por otro lado, las pistas de viraje a la izquierda permiten aumentar la capacidad de la vía, no sólo por el hecho de introducir una pista corta adicional, sino también por el hecho de liberar las pistas adyacentes para la circulación directa.

Los beneficios en la seguridad y la capacidad de las pistas de viraje a la izquierda pueden extenderse a todo el tráfico (ya sea de vehículos motorizados o de peatones). Sin embargo, para los peatones generalmente significa un aumento en la distancia y el tiempo de cruce en la intersección, lo cual puede ser compensado con la provisión de medianas o bandejones para que el cruce se realice en dos etapas.

En el lado derecho, la incorporación de una pista de viraje puede exigir un mayor requerimiento de espacio, o la eliminación de estacionamiento en la calzada.

Los criterios adoptados para considerar la instalación de pistas de viraje a la izquierda normalmente están basados en las velocidades de operación, los volúmenes de vehículos que

viran a la izquierda y de los que se les oponen. Dichos criterios se podrán consultar en la documentación técnica respectiva, tales como el HCM 2000, NCHRP 279, AASHTO (1993), AASHTO (2008), AASHTO (2011), entre otros.

Cabe señalar que las variables consideradas para el análisis, deben ser obtenidas a partir de los resultados de la modelación de tránsito, al menos para uno de los períodos punta. Sin embargo, no se debe dejar de considerar que la aplicación de estos criterios debe ser flexible, ya que incluso en condiciones de flujos bajos, la provisión de este tipo de elementos puede generar grandes beneficios, particularmente cuando se trata del acceso a centros comerciales o a centros administrativos, o bien cuando dentro del análisis se incluyen criterios relacionados con la accidentabilidad.

Finalmente, respecto de las dimensiones, se debe señalar que si bien éstas son parte del diseño, sin lugar a dudas que la modelación podrá entregar algunos elementos de validación y ajuste que podrán ser incorporados dentro del proceso recursivo de análisis.

- Pista de viraje a la derecha

De manera similar al caso de las pistas de viraje a la izquierda, la provisión de una pista de viraje a la derecha normalmente se realiza para permitir que los vehículos que requieren virar puedan hacerlo en un espacio de almacenamiento adecuado, evitando las interferencias con los vehículos que circulan directamente, reduciendo así el riesgo de accidentes y aumentando la capacidad vial, principalmente cuando el viraje se realiza con interferencia de los peatones que cruzan la calzada.

En términos generales, los criterios que pueden ser adoptados para considerar la instalación de una pista de viraje a la derecha, normalmente están basados en consideraciones de tipo racional y cualitativo, más que en criterios de tipo numérico, como puede ser el caso de los resultados de una modelación de tránsito.

- Longitud de las pistas de viraje

Para las pistas de viraje, el cálculo de la longitud de la pista puede ser realizado a partir de los resultados de la modelación de tránsito, considerando la longitud de cola máxima de vehículos en la pista de viraje e incorporando una holgura de 15%.

En el caso de virajes a la izquierda, el REDEVU entrega recomendaciones para su determinación en el capítulo con recomendaciones de diseño de elementos de intersecciones.

Cualquiera sea la fórmula válida de estimación de longitud de pistas de viraje, estas deben ser validadas y ajustadas con herramientas de microsimulación.

A nivel preliminar, se podrá estimar la longitud de la pista de viraje considerando el método recomendado en el NCHRP 279 y el HCM 2000.

#### 12.6.4.4 Programación de semáforos

Cualquier modificación en flujos o flujos de saturación debe ser seguida de una adecuación de la programación de semáforos, donde los haya. Cuando estos forman una red, incluso un cambio en la velocidad de recorrido en un tramo de vía puede requerir una adecuación. Esto hace obligatorio diseñar la programación para cada período de cada situación (base o alternativa) en cada corte temporal.

##### a) Conceptos generales

La programación de semáforos debe cubrir todos los nodos semaforizados del área de influencia. Este proceso tiene tres dimensiones. La primera corresponde a la geometría de conflictos en cada intersección y se expresa en el diseño de fases, entreverdes y verdes mínimos. La segunda, a la intensidad de los conflictos en cada intersección, y conduce a un tiempo de ciclo y repartos. La tercera aparece cuando los semáforos forman red, en cuyo caso el tiempo de ciclo de todas las intersecciones debe guardar una relación fija; se requiere determinar los desfases y, eventualmente, ajustar el diseño de fases y repartos.

Estas tres dimensiones no son independientes, por lo que se trabaja con un procedimiento secuencial que contempla iteraciones para considerar explícitamente la dependencia. Los métodos a aplicar son, en esencia, los contenidos en el Capítulo 4 de MTT (2012). A continuación se entregan criterios generales y algunos elementos básicos, tomados de dicho manual.

##### b) Diseño de fases, entreverdes y verdes mínimos

Su objetivo fundamental es maximizar la capacidad de la intersección sujeto a restricciones de seguridad. En cuanto a fases, se busca aprovechar la flexibilidad que ofrecen los controladores, haciendo uso intensivo del traslape de movimientos. Los movimientos peatonales deben ser incorporados en el diseño de fases y verdes mínimos, incluso considerando el cruce de la vía en dos etapas, si hay refugio en el centro de la calzada. Las fases, los entreverdes y los verdes mínimos serán constantes entre períodos, aunque pueden variar entre la situación base y las alternativas de proyecto.

##### c) Tiempo de ciclo, repartos y desfases

El proceso para determinarlos es distinto según se trate de intersecciones aisladas o coordinadas y de proyectos sin o con reasignación de flujos. En intersecciones aisladas, se aplicarán

estrictamente los métodos de MTT (2012). Cuando hay coordinación, se determina primero el tiempo de ciclo y luego, repartos y desfases con ayuda de programas computacionales.

## Capítulo 13 Evaluación económica

### Sección 13.1 Estimación de beneficios económicos

#### 13.1.1 Beneficios asociados a usuarios motorizados

Los beneficios anuales que un proyecto de transporte genera a los usuarios motorizados, se obtienen del ahorro en el consumo total de recursos entre las situaciones base y con proyecto.

Se reconocen tradicionalmente beneficios por ahorro de tiempo de viaje, de consumo de combustible y de otros costos de operación.

##### 13.1.1.1 Consumo de tiempo de viaje

Para un corte temporal y situación dados, los consumos se calculan sobre una base anual agregando las semanas tipo en que se divide el año. Luego, el consumo anual de tiempo ( $CTA$ ) en una situación (base o alternativa) y corte temporal determinados, está dado por:

$$CTA = \sum_{m=1}^{NS} \sum_{i=1}^{NP_m} CT_{im} \quad 13.1.1-1$$

Donde  $CT_{im}$  es el consumo de tiempo en el período  $i$  ( $i = 1, \dots, NP_m$ ) de la semana tipo  $m$  ( $m = 1, \dots, NS$ ) en \$/año y su expresión para cada semana tipo es:

$$CT_i = FE_i \cdot \sum_{j=1}^{NV} \left( VT_j \cdot \sum_{k \in NA_j} q_{ijk} \cdot TV_{ijk} \cdot TO_{ijk} \right) \quad 13.1.1-2$$

En que:

$FE_i$ : Factor de expansión anual del período  $i$  [h/año] (ver acápite 8.2.2)

$q_{ijk}$ : Flujo de vehículos tipo  $j$  en el arco  $k$  durante el período  $i$  [veh/h]

$TO_{ijk}$ : Tasa de ocupación de vehículos tipo  $j$  en el arco  $k$  durante el período  $i$  [pax/veh]

$TV_{ijk}$ : Tiempo medio de viaje predicho para los vehículos tipo  $j$  en el arco  $k$  en el período simulado  $i$  [h]

$NA_j$ : Conjunto de arcos de la red en que hay vehículos tipo  $j$

$VT_j$ : Precio social del tiempo para los usuarios de vehículos tipo  $j$  [\$/pax-h]

De la modelación se obtienen las variables  $q_{ijk}$  y  $TV_{ijk}$ . Los beneficios de tiempo de viaje son estimados separadamente para cada corte temporal modelado.

Adicionalmente al tiempo de viaje en vehículo, se pueden estimar los consumos de tiempo de espera y caminata, en los casos en que la operación del proyecto los modifique significativamente. Los precios sociales de los tiempos de espera y caminata son definidos y publicados por el Ministerio de Desarrollo Social.

### 13.1.1.2 Consumo de combustible

Los consumos anuales de combustible ( $CCA$ ) en cada situación y corte temporal, resultan también de la agregación de su valor para cada semana tipo considerada:

$$CCA = \sum_{m=1}^{NS} \sum_{i=1}^{NP_m} CC_{im} \quad 13.1.1-3$$

Donde  $CC_{im}$  denota consumo de combustible en el período  $i$  ( $i = 1, \dots, NP_m$ ) de la semana tipo  $m$  ( $m = 1, \dots, NS$ ) en \$/año. Para obtener  $CC$  en un período de una semana tipo se tiene:

$$CC_i = FE_i \sum_{j=1}^{NV} \left( VC_j \cdot \sum_{k \in NA_j} q_{ijk} \cdot [L_k \cdot cm_j(v_{ik}) + h_{ik} \cdot cd_j(v_{ik}) + d_{ik} \cdot cr_j] \right) \quad 13.1.1-4$$

Donde:

$FE_i$ : Factor de expansión anual del período  $i$  [h/año] (ver acápite 8.2.2).

$q_{ijk}$ : Flujo de vehículos tipo  $j$  en el arco  $k$  durante el período  $i$  [veh/h].

$L_k$ : Longitud del arco  $k$  [km].

$cm_j(v_{ik})$ : Consumo unitario en movimiento de los vehículos tipo  $j$ , función de la velocidad en el arco  $k$  en el período  $i$  [l/veh-km].

$h_{ik}$ : Número medio de detenciones por vehículo en el arco  $k$  y período  $i$  [det/veh].

$cd_j(v_{ik})$ : Consumo adicional por detención de un vehículo tipo  $j$ , función de la velocidad en el arco  $k$  en el período  $i$  [l/det].

$d_{ik}$ : Demora media por vehículo en el arco  $k$  y período  $i$  [h/veh].

$cr_j$ : Consumo de combustible al ralentí de un vehículo tipo  $j$  [l/h].

$VC_j$ : Precio social del combustible del vehículo tipo  $j$  [\$/l].

De la modelación se obtienen las variables  $L_k$ ,  $h_{ik}$  y  $d_{ik}$  y la velocidad  $v_{ik}$ .

Los consumos de combustible por detenciones, al ralentí y en movimiento se muestran en la Tabla 13.1.1-1, la Tabla 13.1.1-2 y la Tabla 13.1.1-3, respectivamente. Para velocidades no incluidas en las tablas, se interpola. Los factores de expansión  $FE_i$  son calculados, al igual que en el párrafo anterior, con las expresiones del acápite 8.2.2. También se hace por separado la estimación de beneficios para cada corte temporal.

Tabla 13.1.1-1  
Consumo de combustible por detenciones

Velocidad Crucero  (km/h)	Autos, camionetas y todo terreno (ml/det)	Taxis básicos y colectivos (ml/det)	Camiones simples (ml/det)	Camiones articulados (ml/det)	Taxibuses (ml/det)	Buses (ml/det)	Buses articulados (ml/det)	Buses interurbanos (ml/det)
10	1,82	1,62	2,62	5,71	1,87	2,39	3,00	2,85
20	3,25	2,89	5,30	11,83	4,03	5,15	6,33	5,64
30	5,51	4,92	11,34	25,07	8,95	11,52	13,54	11,59
40	8,16	7,33	20,43	44,25	16,62	21,49	24,48	20,56
50	10,96	9,85	33,32	70,45	27,84	36,05	39,96	33,46
60	14,04	12,60	50,74	102,70	42,99	55,63	60,30	50,79
70	16,92	15,20	72,14	141,46	62,55	80,77	85,55	72,91
80	19,31	17,39	98,99	186,06	87,15	112,10	116,25	100,39
90	20,90	18,64	-	-	-	-	-	-
100	21,94	19,53	-	-	-	-	-	-

Fuente: Sectra (2013a)

Tabla 13.1.1-2  
Consumo de combustible al ralentí

Tipo de Vehículo HDM4	$cr$ (l/h)
Autos, camionetas y todo terreno	1,20
Taxis básicos y colectivos	1,04
Camiones simples	1,85
Camiones articulados	2,52
Taxibuses	1,80
Buses	2,03
Buses articulados	2,45
Buses interurbanos	2,52

Fuente: Sectra (2013a)

Tabla 13.1.1-3  
Consumo de combustible en movimiento

Velocidad Crucero (km/h)	Autos, camionetas y todo terreno (ml/det)	Taxis básicos y colectivos (ml/det)	Camiones simples (ml/det)	Camiones articulados (ml/det)	Taxibuses (ml/det)	Buses (ml/det)	Buses articulados (ml/det)	Buses interurbanos (ml/det)
10	205,6	182,0	362,8	791,9	259,6	331,1	415,9	395,1
20	110,2	97,8	216,6	483,8	165,0	210,8	259,0	230,7
30	81,3	72,7	179,5	397,0	141,7	182,4	214,4	183,5
40	68,9	61,9	169,5	367,1	137,9	178,3	203,1	170,6
50	63,7	57,3	173,3	366,4	144,8	187,5	207,8	174,0
60	62,4	56,0	186,7	377,9	158,2	204,7	221,9	186,9
70	64,0	57,5	205,5	403,0	178,2	230,1	243,7	207,7
80	67,5	60,8	234,1	440,0	206,1	265,1	274,9	237,4
90	73,1	65,2	-	-	-	-	-	-
100	80,1	71,3	-	-	-	-	-	-

Fuente: Sectra (2013a)

En el caso de arcos con gradientes significativos, el consumo de combustible en movimiento deberá corregirse.

La corrección por gradiente se determina según la siguiente expresión:

$$cm_j = \begin{cases} cm_j^0 + k_v \cdot G & \text{para arcos en subida} \\ \max(cm_j^0 + k_v \cdot G; cm_{min}) & \text{para arcos en bajada} \end{cases} \quad 13.1.1-5$$

Donde:

$cm_j$ : Consumo unitario en movimiento de los vehículos tipo  $j$  [ml/km].

$cm_j^0$ : Consumo de combustible en movimiento, tramos sin pendiente (Tabla 13.1.1-3 [ml/km].

$k_v$ : Parámetro estimado que depende de la velocidad de crucero.

$G$ : Pendiente del arco [%] (positiva en subida y negativa en bajada).

$cm_{min}$ : Consumo mínimo de combustible en movimiento [ml/km].

Los valores de  $k_v$  y  $cm_{min}$  se muestran en la Tabla 13.1.1-4, para vehículos livianos; en la Tabla 13.1.1-5, para taxibuses y buses; en la Tabla 13.1.1-6, para buses articulados e interurbanos; y en la Tabla 13.1.1-7 para camiones.

Tabla 13.1.1-4

Coefficientes de corrección por pendiente/gradiente, vehículos livianos

Velocidad Crucero (km/h)	Autos, camionetas y todo terreno (ml/km)			Taxis básicos y colectivos (ml/km)		
	$k_v (G > 0)$	$k_v (G < 0)$	$cm_{min}$	$k_v (G > 0)$	$k_v (G < 0)$	$cm_{min}$
10	10,5	8,7	120,0	8,9	7,7	104,0
20	10,6	8,3	60,0	8,9	7,7	52,0
30	10,7	8,2	40,0	9,0	7,7	34,7
40	10,9	8,1	30,0	9,2	7,4	26,0
50	11,2	8,4	24,0	9,4	7,5	20,8
60	11,5	8,8	20,0	9,7	7,9	17,3
70	11,9	9,6	17,1	10,0	8,7	14,9
80	12,3	10,3	15,0	10,5	9,2	13,0
90	12,8	11,1	13,3	10,8	9,6	11,6
100	13,3	11,7	12,0	11,3	10,1	10,4

Fuente: Sectra (2013a)

Tabla 13.1.1-5

Coefficientes de corrección por pendiente/gradiente, taxibuses y buses

Velocidad Crucero (km/h)	Taxibuses (ml/km)			Buses (ml/km)		
	$k_v (G > 0)$	$k_v (G < 0)$	$cm_{min}$	$k_v (G > 0)$	$k_v (G < 0)$	$cm_{min}$
10	65,3	40,2	179,2	109,9	64,5	202,2
20	65,6	37,7	89,6	110,4	54,9	101,1
30	67,2	41,0	59,7	113,1	57,5	67,4
40	69,4	46,5	44,8	116,6	63,9	50,5
50	72,3	54,5	35,8	121,4	73,6	40,4
60	75,4	64,2	29,9	126,3	85,5	33,7
70	75,5	69,8	25,6	125,6	100,6	28,9
80	79,7	73,2	22,4	132,2	118,3	25,3

Fuente: Sectra (2013a)

Tabla 13.1.1-6

Coeficientes de corrección por pendiente/gradiente, buses articulados e interurbanos

Velocidad Crucero (km/h)	Buses articulados (ml/km)			Buses interurbanos (ml/km)		
	$k_v (G > 0)$	$k_v (G < 0)$	$cm_{min}$	$k_v (G > 0)$	$k_v (G < 0)$	$cm_{min}$
10	179,7	85,9	244,1	104,1	72,1	250,9
20	182,6	68,5	122,1	104,8	52,6	125,5
30	186,0	66,5	81,4	105,9	49,9	83,6
40	191,5	71,1	61,0	108,1	53,9	62,7
50	198,3	79,5	48,8	111,0	61,9	50,2
60	205,2	90,6	40,7	114,0	72,5	41,8
70	200,5	104,4	34,9	117,3	85,9	35,8
80	208,4	122,2	30,5	117,3	103,0	31,4

Fuente: Sectra (2013a)

Tabla 13.1.1-7

Coeficientes de corrección por pendiente/gradiente, camiones simples y articulados

Velocidad Crucero (km/h)	Camión simple (ml/km)			Camión articulado (ml/km)		
	$k_v (G > 0)$	$k_v (G < 0)$	$cm_{min}$	$k_v (G > 0)$	$k_v (G < 0)$	$cm_{min}$
10	59,2	51,8	183,8	196,3	165,5	250,9
20	59,4	51,8	91,9	197,0	163,3	125,5
30	60,8	53,2	61,3	202,5	156,7	83,6
40	62,5	55,0	46,0	208,2	152,2	62,7
50	64,8	58,1	36,8	216,0	158,1	50,2
60	67,6	60,9	30,6	222,5	168,0	41,8
70	67,6	63,4	26,3	218,3	180,6	35,8
80	71,3	66,4	23,0	226,3	193,7	31,4

Fuente: Sectra (2013a)

### 13.1.1.3 Otros costos de operación

Se consideran como otros costos de operación de vehículos los ahorros en los siguientes recursos: lubricantes, neumáticos, repuestos y mano de obra de mantenimiento. El consumo de todos estos recursos se estima en función de la rugosidad de la vía medida en IRI ( $R_{IRI}$ ). Luego, los beneficios por este concepto se obtienen tanto por cambios en las distancias recorridas por los vehículos, como por cambios en la rugosidad de las vías, entre la situación base y con proyecto.

El costo anual relativo a otros costos de operación ( $OCA$ ), para cada situación se obtiene con la siguiente expresión:

$$OCA = \sum_{m=1}^{NS} \sum_{i=1}^{NP_m} OC_{im} \quad 13.1.1-6$$

Donde  $OC_{im}$  denota consumo de otros costos de operación en el período  $i$  ( $i = 1, \dots, NP_m$ ) de la semana tipo  $m$  ( $m = 1, \dots, NS$ ) en \$/año. Para computar  $OC$  en un período de una semana tipo se tiene:

$$OC_i = FE_i \sum_{j=1}^{NV} \sum_{k \in NA_j} q_{ijk} \cdot L_k \cdot \left( \frac{CL_{ijk} \cdot VL_j + CN_{ijk} \cdot VN_j + CR_{ijk} \cdot VV_j + CM_{ijk} \cdot VH_j}{1000} \right) \quad 13.1.1-7$$

Donde:

- $FE_i$ : Factor de expansión anual del período  $i$  [h/año] (ver acápite 8.2.2).
- $q_{ijk}$ : Flujo de vehículos tipo  $j$  en el arco  $k$  durante el período  $i$  [veh/h].
- $L_k$ : Longitud del arco  $k$  [km].
- $CL_{ijk}$ : Consumo de lubricantes del vehículo tipo  $j$  en el arco  $k$  en el período  $i$  [l/1000 km].
- $CN_{ijk}$ : Consumo de neumáticos del vehículo tipo  $j$  en el arco  $k$  en el período  $i$  [# /1000 km].
- $CR_{ijk}$ : Consumo de repuestos del vehículo tipo  $j$  en el arco  $k$  en el período  $i$  [% de vehículo nuevo /1000 km].
- $CM_{ijk}$ : Consumo de mano de obra de mantenimiento del vehículo tipo  $j$  en el arco  $k$  en el período  $i$  [h/1000 km].
- $VL_j$ : Precio social del lubricante del vehículo tipo  $j$  [\$/l].
- $VN_j$ : Precio social de un neumático del vehículo tipo  $j$  [\$/unidad].
- $VV_j$ : Precio social del vehículo tipo  $j$  [\$/veh].
- $VH_j$ : Precio social de la mano de obra de mantenimiento para el vehículo tipo  $j$  [\$/h].

En los puntos siguientes se exponen las formulaciones para la estimación de los consumos de cada una de las componentes indicadas.

## a) Consumo de lubricantes

En consumo de lubricantes se expresa en [l/1000 km] de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CL = \begin{cases} \alpha + \beta \cdot R_{IRI} & \text{para vías pavimentadas} \\ \delta & \text{para vías no pavimentadas} \end{cases} \quad 13.1.1-8$$

Tabla 13.1.1-8

Coefficientes de la función de consumo de lubricantes por tipo de vehículo

Velocidad Crucero (km/h)	Autos, camionetas y todo terreno (ml/det)	Taxis básicos y colectivos (ml/det)	Camiones simples (ml/det)	Camiones articulados (ml/det)	Taxibuses (ml/det)	Buses (ml/det)	Buses articulados (ml/det)	Buses interurbanos (ml/det)
$\alpha$	1,109	1,035	2,620	5,950	3,116	3,468	4,655	3,062
$\beta$	0,005498	0,005246	0,003824	0,006657	0,002380	0,00305	0,003340	0,001970
$\delta$	1,214	1,131	2,740	6,228	3,189	3,558	4,835	3,185

Fuente: Sectra (2013a)

## b) Consumo de neumáticos

En consumo de neumáticos se expresa en [# /1000 km] de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CN = \begin{cases} \alpha + \beta \cdot R_{IRI} & \text{para vías pavimentadas} \\ \delta & \text{para vías no pavimentadas} \end{cases} \quad 13.1.1-9$$

Tabla 13.1.1-9

Coefficientes de la función de consumo de neumáticos por tipo de vehículo

Velocidad Crucero (km/h)	Autos, camionetas y todo terreno (ml/det)	Taxis básicos y colectivos (ml/det)	Camiones simples (ml/det)	Camiones articulados (ml/det)	Taxibuses (ml/det)	Buses (ml/det)	Buses articulados (ml/det)	Buses interurbanos (ml/det)
$\alpha$	0,052	0,059	0,087	0,272	0,090	0,078	0,126	0,075
$\beta$	0,001241	0,001847	0,001457	0,004172	0,000713	0,00044	0,001827	0,001158
$\delta$	0,077	0,092	0,125	0,375	0,131	0,109	0,198	0,115

Fuente: Sectra (2013a)

## c) Consumo de repuestos

En consumo de repuestos se expresa en [% de vehículo nuevo/1000 km] de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CR = \begin{cases} \alpha + \beta \cdot R_{IRI}^n & \text{para vías pavimentadas} \\ \delta & \text{para vías no pavimentadas} \end{cases} \quad 13.1.1-10$$

Tabla 13.1.1-10

Coefficientes de la función de consumo de repuestos por tipo de vehículo

Velocidad Crucero (km/h)	Autos, camionetas y todo terreno (ml/det)	Taxis básicos y colectivos (ml/det)	Camiones simples (ml/det)	Camiones articulados (ml/det)	Taxibuses (ml/det)	Buses (ml/det)	Buses articulados (ml/det)	Buses interurbanos (ml/det)
$\alpha$	0,173	0,185	0,152	0,062	0,059	0,059	0,035	0,035
$\beta$	0,00286	0,00278	0,00516	0,00583	0,00413	0,00413	0,00491	0,00491
$n$	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87
$\delta$	0,304	0,311	0,388	0,329	0,248	0,248	0,260	0,260

Fuente: Sectra (2013a)

## d) Consumo de mano de obra de mantenimiento

En consumo de mano de obra se expresa en [h/1000 km] de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CM = \begin{cases} \alpha + \beta \cdot R_{IRI}^n & \text{para vías pavimentadas} \\ \delta & \text{para vías no pavimentadas} \end{cases} \quad 13.1.1-11$$

Tabla 13.1.1-11

Coefficientes de la función de consumo de mano de obra de mantenimiento por tipo de vehículo

Velocidad Crucero (km/h)	Autos, camionetas y todo terreno (ml/det)	Taxis básicos y colectivos (ml/det)	Camiones simples (ml/det)	Camiones articulados (ml/det)	Taxibuses (ml/det)	Buses (ml/det)	Buses articulados (ml/det)	Buses interurbanos (ml/det)
$\alpha$	1,083	0,952	1,152	2,680	2,703	2,703	2,480	2,480
$\beta$	0,02539	0,02339	0,20957	0,43775	0,30940	0,30940	0,47149	0,47149
$n$	1,74	1,75	1,63	1,50	1,54	1,54	1,44	1,44
$\delta$	1,949	1,771	6,901	11,767	9,696	9,696	11,250	11,250

Fuente: Sectra (2013a)

e) Estimación de la rugosidad del pavimento

La evolución de la rugosidad del pavimento es dependiente de dos factores principales: las solicitaciones a las que se ve expuesto y las políticas de mantenimiento que se apliquen. La estimación más rigurosa obliga a realizar una modelación del deterioro de los pavimentos en cada situación modelada y la definición de las políticas de mantenimiento, junto con los costos anuales que signifique su aplicación. Para esto, en la Sección 10.6 se expone el procedimiento para la simulación del deterioro de los pavimentos en vías urbanas.

En la situación base normalmente no se consideran pavimentaciones en los arcos de proyecto, pero sí en otros arcos de la red en que existan proyectos cuya ejecución esté decidida y que consideren pavimentos nuevos.

Para el cálculo de los otros costos de operación de vehículos, para los arcos de la red que no corresponden al proyecto estudiado se puede utilizar un valor promedio de la rugosidad (obtenido a partir de los catastros realizados en terreno) y se puede suponer que su valor es el mismo tanto en la situación base como con proyecto (no es necesario para estos arcos estimar costos de mantenimiento, ya que al ser equivalentes se anulan).

Para los arcos que están sujetos a proyecto que consideran repavimentación o vías nuevas, se deberá estimar la evolución de la rugosidad en la situación base y con proyecto mediante la simulación del deterioro, obteniendo de esa manera el valor de la rugosidad para el segundo corte temporal.

Sin perjuicio de lo anterior, es posible considerar un tratamiento simplificado que consiste en imputarle al eje de proyecto una rugosidad de pavimento nuevo para el primer corte, y una más alta para el segundo corte, asociada normalmente a la rugosidad media del área de influencia del proyecto, que se mantiene constante en el resto del horizonte de evaluación.

En el caso particular de proyectos con reasignación donde no existan cambios en la rugosidad de los pavimentos entre las situaciones sin y con proyecto, se puede considerar un valor de rugosidad promedio para la red, y los beneficios por otros costos de operación serán solo aquellos atribuibles a cambios en las distancias recorridas por los vehículos en la red.

En proyectos sin reasignación de tránsito ni cambios en los pavimentos, no tiene sentido considerar los otros costos de operación, pues en este caso no existirán beneficios.

## 13.1.2 Beneficios por seguridad vial

### 13.1.2.1 Estimación de ocurrencia de accidentes

A la fecha de edición del presente manual, no se ha aprobado una metodología que permita modelar y proyectar la ocurrencia de accidentes dentro del contexto urbano. La sección siguiente tratará la metodología de cálculo de beneficios que será utilizada una vez que se sancione oficialmente la metodología de estimación de accidentes.

### 13.1.2.2 Estimación de beneficios por accidentes de tránsito

El beneficio social por disminución de los accidentes de tránsito se determina a partir de la diferencia entre los costos sociales por accidentes entre la situación base y con proyecto. El costo social asociado a una situación se determina en función de la cantidad de accidentes de cada tipo estimados en la intersección, eje o red vial analizada, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CSA^t = \sum_i N_i^t \cdot VSA_i \quad 13.1.2-1$$

Donde:

$CSA^t$ : es el costo social total anual por accidentes en el año  $t$  [\$/año].

$N_i^t$ : es la cantidad de accidentes anuales del tipo  $i$ , en el año  $t$  [acc/año].

$VSA_i$ : es el valor social unitario del accidente tipo  $i$  [\$/acc].

La valorización media de los accidentes de cada tipo ( $VSA_i$ ) se determina sobre la base de antecedentes de accidentes específicos en el área de estudio y un vector de valores sociales unitarios para las componentes de los costos: fallecidos, lesionados y daños materiales<sup>4</sup>. Para este último caso, la valorización media por accidente se obtiene con la siguiente expresión:

$$VSA_i = \sum_j CDM_{ji} \cdot NV_{ji} + \sum_k CL_k \cdot NL_{ki} \quad 13.1.2-2$$

Donde:

<sup>4</sup> Determinado y publicado por el Ministerio de Desarrollo Social.

- $CDM_{ji}$ : Costo por daños materiales de un vehículo tipo  $j$  en un accidente tipo  $i$  [\$/veh]
- $CL_k$ : Costo de un lesionado tipo  $k$  [\$/lesionado]
- $NV_{ji}$ : Número medio de vehículos del tipo  $j$  involucrados en el accidente promedio tipo  $i$  [veh/acc]
- $NL_{ki}$ : Número medio de lesionados tipo  $k$  en el accidente promedio del tipo  $i$  [lesionados / acc]
- $i$ : Tipo de accidente (atropello, colisión, choque, volcadura)
- $j$ : Tipo de vehículo (vehículos livianos, vehículos pesados)
- $k$ : Tipo de lesión (leve, menos grave, grave, fallecido)

Los valores de las tasas de vehículos involucrados por accidente o tasa por tipo de lesionado por accidente se determinan de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$NV_{ji} = \frac{\sum V_{ji}}{NA_i} \quad 13.1.2-3$$

$$NL_{ki} = \frac{\sum L_{ki}}{NA_i} \quad 13.1.2-4$$

Donde:

- $NA_i$ : Total de accidentes tipo  $i$  [#]
- $V_{ji}$ : Total de vehículos tipo  $j$  involucrados en accidentes tipo  $i$  [#]
- $L_{ki}$ : Total de lesionados del tipo  $k$  involucrados en accidentes tipo  $i$  [#]

### 13.1.3 Beneficios asociados a usuarios no motorizados

#### 13.1.3.1 Beneficios asociados a peatones

Como consecuencia de un proyecto de vialidad urbana puede afectarse el tiempo de viaje de los usuarios no motorizados, ya sea por diferencias en la distancia recorrida (por ejemplo, cambios en la localización de cruces peatonales, peatonalización de calles, etc.) o simplemente por diferencia en las demoras en el cruce de flujos vehiculares (por ejemplo, cambios en las programaciones de semáforos, o semaforización de un cruce peatonal). En los casos en que se estime que dichos

impactos son relevantes en relación con los beneficios totales del proyecto, se recomienda su cuantificación e incorporación en la evaluación social.

Para efectos de la cuantificación de tiempos de viaje de peatones, se recomienda considerar una velocidad de caminata de 1,1 m/s, que equivalente a la que se utiliza para determinar verdes mínimos para la programación de fases de semáforo.

### **13.1.3.2 Beneficios asociados a ciclistas**

Cuando el proyecto de vialidad urbana estudiado incluya la provisión de ciclovías en uno o más ejes, se recomienda determinar los beneficios asociados e incluirlos en la evaluación social integral del proyecto. La determinación de beneficios asociados a ciclovías se debe realizar de acuerdo con la metodología expuesta en SECTRA (2011). Se debe tener presente en la utilización de dicha metodología dos casos:

#### **a) Ciclovía que pertenece a una red de ciclorrutas**

En este caso, se podrá aplicar en forma íntegra la metodología de estimación de beneficios del manual referido, tanto para usuarios no motorizados como motorizados.

#### **b) Ciclovía que no pertenece a una red de ciclorrutas**

Una ciclovía aislada no producirá el mismo nivel de inducción de viajes en bicicleta que una red de ciclorrutas. Por ello, los beneficios a considerar en este caso serán solo los asociados a la segregación de las bicicletas del tráfico de vehículos motorizados.

### **13.1.4 Otros beneficios económicos**

#### **13.1.4.1 Beneficios por disminución de flota de buses en proyectos de corredores con vías exclusivas**

Los proyectos de corredores de buses con vías exclusivas mejoran la velocidad de operación de los buses, generando una disminución del tiempo de ciclo de los recorridos y, con ello, una liberación de recursos por disminución del tamaño óptimo de la flota requerido para satisfacer la demanda. La metodología para determinar estos beneficios se describe en MDS (2013a).

#### **13.1.4.2 Beneficios por ejecución simultánea de proyectos de vialidad urbana y de evacuación de aguas lluvias**

El desarrollo de infraestructura y equipamiento urbano implica la materialización de proyectos de variada finalidad, cuya ejecución se encuentra programada en distintos momentos del tiempo. Por

tanto, evaluar en conjunto otros tipos de proyectos con los de infraestructura urbana permitirá determinar la conveniencia para la sociedad de desarrollar ambas iniciativas en forma coordinada (sincrónica o simultáneamente), a fin de aprovechar las ganancias de eficiencia operativa (ahorros de costos de ejecución por las eventuales economías de escala de diferente índole).

La metodología y procedimientos para la evaluación conjunta de este tipo de proyectos con los de vialidad urbana se describen en MDS (2013b).

## Sección 13.2 Proyección de beneficios

### 13.2.1 Proyectos con modelación de un solo corte temporal

Para los proyectos que se evalúen sobre la base de la modelación de un solo corte temporal, la estimación de los beneficios para cada año del horizonte de evaluación considerado se realizará a través de una proyección lineal de los beneficios obtenidos de la modelación del primer año de operación del proyecto. El crecimiento de los beneficios se obtiene a partir de la tasa estimada de crecimiento del flujo vehicular. Si se considera una tasa de crecimiento del flujo diferenciada por tipo de vehículo, la proyección de beneficios también debe hacerse separadamente para cada uno de ellos. La expresión para los beneficios en cada año viene dada por:

$$B_{tj} = B_{1j} \cdot \left[ 1 + \frac{r_j}{100} \cdot (t - 1) \right] \quad 13.2.1-1$$

Donde:

$B_{tj}$ : Beneficio en el año  $t$ , para los vehículos del tipo  $j$  [\$/año].

$r_j$ : Tasa de crecimiento del flujo vehicular de los vehículos del tipo  $j$  [%].

### 13.2.2 Proyectos con modelación de más de un corte temporal

Se cuenta con resultados de la simulación para el primer año de funcionamiento y para un año intermedio del período de evaluación, con lo que es posible obtener los beneficios totales anuales para ambos años. Los beneficios de los años entre los cortes temporales y posteriores al último corte temporal modelado se obtendrán interpolando y extrapolando linealmente los valores de los años modelados. Los beneficios para cada año del horizonte de evaluación quedan dados por:

$$B_t = \frac{(B_k - B_1)}{(k - 1)} \cdot (t - 1) + B_1 \quad 13.2.2-1$$

Donde:

$B_t$ : Beneficio en el año  $t$  ( $t = 1, \dots, k$ ) del horizonte de evaluación del proyecto [\$/año].

$k$ : Año del corte temporal modelado.

Los años posteriores al último corte temporal modelado se obtienen extrapolando linealmente los beneficios resultantes entre los cortes modelados. No obstante, cuando alguno de los períodos modelados presente saturación, se recomienda considerar una tasa de beneficios menor. Es decir:

$$B_t = a \cdot \frac{(B_k - B_1)}{(k - 1)} \cdot (t - k - 1) + B_k \quad 13.2.2-2$$

Donde  $a$  es un factor que reduce la tasa de crecimiento de beneficios obtenida de la modelación. Usualmente, se considera  $a = 1/2$ .

Para obtener los beneficios asociados al último corte temporal modelado, se distinguen dos casos que se describen en los párrafos siguientes.

### 13.2.2.1 Determinación de beneficios cuando no existen períodos de modelación saturados

Cuando no se produce saturación en ninguno de los períodos modelados en la situación base y en la situación con proyecto, los beneficios en cada corte temporal se determinan a partir de la diferencia entre los costos de operación de la situación base y con proyecto, de cada hora modelada, multiplicada por el factor de expansión de cada período considerado. Es decir:

$$B_t = \sum_i FE_i \cdot [C_{ti}^B - C_{ti}^P] \quad 13.2.2-3$$

Donde:

$FE_i$ : Factor de expansión anual del período  $i$  [h/año] (ver acápite 8.2.2).

$C_{ti}^B$ : Costos de operación totales de la situación base o de referencia en la hora de modelación del período  $i$  en el año  $t$  [\$/h].

$C_{ti}^P$ : Costos de operación totales de la situación con proyecto en la hora de modelación del período  $i$  en el año  $t$  [\$/h].

### 13.2.2.2 Determinación de beneficios cuando existen períodos de modelación saturados

#### a) Enfoque tradicional

El enfoque tradicional consiste en encontrar el año anterior al que se produce la saturación de algún período, obtener la demanda correspondiente vía interpolación, y modelar este año como segundo corte temporal, para luego proceder como se indica al inicio del acápite 13.2.2.

#### b) Enfoque alternativo

El enfoque que se presenta a continuación busca considerar en el cálculo de beneficios el efecto del cambio de horario de los viajes producto de la saturación de un período, excluyendo otros posibles efectos tales como el cambio modal, disminución de la generación de viajes o cambios en la distribución, fenómenos que quedan fuera del alcance de este manual de análisis táctico.

Cuando en la situación base o en la situación con proyecto se produce la saturación de uno o más períodos de modelación, se entiende que tal situación obedece a que la infraestructura disponible ya no es capaz de acomodar la demanda de viajes dentro de la hora de modelación. En este caso, se entenderá que la demanda horaria representativa de dicho período ya no puede crecer más, pues no puede ser servida por la infraestructura disponible y, por lo tanto, el crecimiento esperado de la demanda se traspasa a las horas adyacentes. Frente a esta situación, el primer paso será asegurarse de que no puede mejorarse la situación mediante medidas operacionales (uso de pistas, programaciones de semáforo, prioridades, etc.). Un segundo paso, será el considerar nuevas inversiones para la situación base que resuelvan los problemas de sobre saturación en el corte temporal modelado, las cuales sin embargo, deben enmarcarse dentro de las intervenciones permitidas, es decir, medidas de gestión e infraestructura menor de bajo costo. En caso de no lograr la solución a la sobre saturación, se debe determinar y modelar el año previo al que se produce la sobre saturación del período (no necesariamente es el mismo año para todos los períodos). De esta manera, cuando se ha producido la saturación de un período de modelación en un año anterior al corte temporal futuro considerado, la determinación de los beneficios anuales asociados a dicho corte temporal se puede realizar como sigue.

Dado que se supone que la demanda en el período se mantendrá constante a partir del año anterior al de sobre saturación, también serán constantes los costos operacionales a partir de dicho año. Luego, como la demanda por viajes, a nivel anual, igualmente sigue creciendo, los beneficios del año  $k$  (corte temporal futuro) se deben calcular modificando los factores de expansión asociados a la situación que presentó sobre saturación antes del año  $k$ .

Entonces, se debe cumplir:

$$\sum_i FE_i^0 \cdot D_{ik}^P = \sum_i FE_{it}^B \cdot D_{ik}^B \quad 13.2.2-4$$

Donde:

$FE_i^0$ : Factor de expansión anual inicial del período  $i$  determinado en la periodización [h/año]

$D_{ik}^P$ : Demanda en la situación con proyecto en el período  $i$ , en el año  $k$  [viajes/h; veq/h]

$FE_{ik}^B$ : Factor de expansión anual modificado en la situación base para el período  $i$ , en el año  $k$  [h/año]

$D_{ik}^B$ : Demanda en la situación base en el período  $i$ , en el año  $k$  [viajes/h; veq/h]

Como medida de demanda se sugiere considerar lo siguiente, según el tipo de proyecto que se esté evaluando:

- Proyectos en intersecciones aisladas: suma de los flujos que acceden al cruce en la hora representativa de cada período.
- Proyectos en ejes y redes sin reasignaciones: suma de los flujos de entrada y de salida de la red en la hora representativa de cada período.
- Proyectos en redes con reasignaciones: suma de las matrices de viaje de la hora representativa de cada período.

La definición adecuada de la medida de demanda es crucial para este procedimiento y debe ser cuidadosamente justificada por el analista.

El procedimiento de cálculo establece que el total de horas equivalentes<sup>5</sup> al año, que corresponden a la suma aritmética de los factores de expansión de cada período, se mantiene constante. Luego, las horas anuales que se agregan a un período punta para representar el cambio horario de los viajes, se le restan al período adyacente (normalmente el fuera de punta). Entonces, el cálculo se puede hacer solo considerando el período punta que se satura y el período fuera de punta, en donde:

---

<sup>5</sup> Los factores de expansión de beneficios no corresponden a horas cronológicas (ver acápite 8.2.2)

$$FE_{PPk}^B = FE_{PP}^0 + X \quad 13.2.2-5$$

$$FE_{FPk}^B = FE_{FP}^0 - X \quad 13.2.2-6$$

Donde *PP* es el período punta que se satura y que aumentará su factor de expansión, y *FP* es el período fuera de punta que reducirá su factor de expansión. Planteando la ecuación 13.2.2-4 y combinándola con las ecuaciones 13.2.2-5 y 13.2.2-6, se tiene:

$$FE_{PP}^0 \cdot D_{PPk}^P + FE_{FP}^0 \cdot D_{FPk}^P = (FE_{PP}^0 + X) \cdot D_{PPk}^B + (FE_{FP}^0 - X) \cdot D_{FPk}^B \quad 13.2.2-7$$

$$X = \frac{FE_{PP}^0 \cdot (D_{PPk}^P - D_{PPk}^B)}{(D_{PPk}^B - D_{FPk}^B)} \quad 13.2.2-8$$

Si existe un segundo período sobre saturado, ya sea en el mismo año u otro que el primero, el procedimiento es el mismo anterior. Sin embargo, si el crecimiento de los factores de expansión de beneficios de ambos períodos saturados se hace reduciendo el factor de expansión de un mismo período fuera de punta, el factor corregido de este último debe restar las horas entregadas a ambos períodos punta.

Luego, los beneficios para el año 1 y el año *k*, se determinan como sigue:

$$B_{i1} = \sum_i FE_i^0 \cdot [C_{i1}^B - C_{i1}^P] \quad 13.2.2-9$$

$$B_{ik} = \sum_i FE_{ik}^B \cdot C_{ik}^B - \sum_i FE_i^0 \cdot C_{ik}^P \quad 13.2.2-10$$

Donde todas las variables fueron previamente definidas.

$C_{ik}^B$  corresponde al costo de operación del período *i* modelado en el año *k*, si el período no se satura, en caso contrario, será el costo de operación del período *i* en el año previo a la sobre saturación.

## Sección 13.3 Estimación de costos sociales de inversión

Para fines de evaluación los costos de inversión deben determinarse en precios sociales. La derivación de precios sociales en la generalidad de los casos se realiza a partir de los precios de mercado, eliminando las transferencias internas de la sociedad (aranceles, impuestos, etc.).

De esta forma, se puede reflejar el grado de escasez del bien para la economía, descomponiendo los precios de mercado de cada partida en sus recursos básicos y aplicando los factores sociales establecidos por el Ministerio de Desarrollo Social.

Luego, el factor social de cada partida es estimado multiplicando el porcentaje que representa cada recurso básico en cada una por los factores sociales establecidos por el Ministerio de Desarrollo Social:

$$F_p = \sum_i f_i \cdot p_i \quad 13.2.23-1$$

Donde:

$F_p$ : Factor social de la partida  $p$ .

$f_i$ : Factor social del recurso  $i$ .

$p_i$ : Porcentaje que representa el recurso  $i$  en la partida  $p$ .

Cada  $i$  corresponde a uno de los siguientes recursos básicos: moneda nacional, mano de obra calificada, mano de obra semicalificada, mano de obra no calificada, moneda extranjera e impuestos.

Luego, la inversión total del proyecto en precios sociales queda dada por:

$$I = \sum_i F_p \cdot IP_p \quad 13.2.23-2$$

Donde:

$I$ : Inversión social del proyecto.

$F_p$ : Factor social de la partida  $p$ .

$IP_p$ : Inversión a precios de mercado de la partida  $p$ .

El Estado, a través del Ministerio de Desarrollo Social, mantiene actualizado el desglose porcentual de cada partida de obras urbanas, las que deberán ser utilizadas para la estimación de las inversiones en precios sociales.

## Sección 13.4 Valor residual del proyecto

### 13.4.1 Definición

El valor residual corresponde al costo de oportunidad o mejor uso alternativo del remanente de las obras atingentes al proyecto al final de su vida útil económica y debe ser estimado al finalizar el horizonte de evaluación de los proyectos de vialidad urbana.

Se considera como valor residual aquella parte de la inversión que no debe volver a efectuarse para materializar un proyecto similar o para destinar dicho proyecto a otro uso alternativo. Esto supone que los beneficios del proyecto finalizan en el horizonte de evaluación.

### 13.4.2 Criterios y recomendaciones generales para el cálculo del valor residual

En general, una parte de las inversiones realizadas para la materialización del proyecto se conserva al último año de evaluación, por lo que no son necesarias para repetir el mismo proyecto.

- Los costos de inversión en expropiaciones y cambios de servicios, se conservan en su totalidad, por lo que se consideran íntegramente en el valor residual.
- Superestructuras como puentes, túneles o desniveles, se deberán analizar caso a caso, justificando la vida útil de la obra respectiva, aunque normalmente ésta se extenderá por no menos de 50 años, estimando su valor residual asumiendo una depreciación constante durante todo este período.
- Los costos asociados a casos especiales como la construcción de colectores de aguas lluvias o soterramiento de cables, de haberse incluido en los costos sociales de inversión, deberán considerarse íntegramente en el valor residual.
- Las obras civiles correspondientes a la reconstrucción de pavimentos (incluyendo el costo de demolición del existente, base, subbase y reposición del pavimento), señalización y equipamiento urbano en general, incluyendo pavimentos en aceras y ciclovías, deben excluirse de la estimación del valor residual.

## Sección 13.5 Indicadores económicos de los proyectos

### 13.5.1 Indicador de corto plazo

Los proyectos de vialidad urbana presentan algunas características particulares que justifican un tratamiento especial en la utilización de indicadores económicos y proyección de beneficios. Una de las más importantes es el carácter creciente de los flujos, lo cual permite esperar una estructura de consumo de recursos y beneficios también creciente.

Para el corto plazo que se utiliza como indicador el Valor actualizado Neto del Primer Año ( $VAN_1$ ), el que corresponde al costo de postergar un año el proyecto y que se define a continuación.

$$VAN_1 = \frac{b_1 - I_0 \cdot a}{1 + a} \quad 13.5.1-1$$

Donde:

$VAN_1$ : Valor actualizado neto del primer año [\\$]

$a$ : Tasa de actualización social

### 13.5.2 Indicadores de largo plazo

Los indicadores de rentabilidad de largo plazo a utilizar corresponden al Valor Actualizado Neto ( $VAN$ ), la Tasa Interna de Retorno ( $TIR$ ) y a la relación Beneficio-Costo ( $BIC$ ). Para su estimación se requiere contar con costos y beneficios anuales durante la vida útil económica de la alternativa en estudio.

#### 13.5.2.1 Valor Actualizado Neto

Corresponde a la medida de los beneficios netos de un proyecto. Se obtiene como la suma de los beneficios anuales actualizados, mediante una tasa de descuento, al primer año de inversión, menos el monto de inversión del proyecto. Este indicador permite comparar la magnitud de los beneficios producidos por distintas alternativas de un proyecto. Su formulación es la siguiente:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{b_t}{(1+a)^t} \quad 13.5.2-1$$

Donde:

$I_0$ : Valor social de la inversión actualizado al año anterior al de puesta en funcionamiento de la alternativa [\\$].

$b_t$ : Beneficio social neto en el año  $t$  del proyecto. Si  $t = n$  (último año del horizonte de evaluación del proyecto) debe agregarse a  $b_n$  el valor residual [\$/año].

$a$ : Tasa de actualización social.

### 13.5.2.2 Tasa Interna de Retorno

La Tasa Interna de Retorno ( $TIR$ ) es una tasa de rendimiento utilizada para medir y comparar la rentabilidad de las inversiones. Corresponde a aquel valor de la tasa de actualización social que hace cero el  $VAN$ . Su obtención es la siguiente.

$$VAN = 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{b_t}{(1 + TIR)^t} \quad 13.5.2-2$$

Todos los parámetros fueron definidos previamente.

### 13.5.2.3 Relación Beneficio-Costo

Este indicador se utiliza para comparar los beneficios de dos alternativas del proyecto por unidad invertida. Se determina como:

$$\frac{B}{C} = \frac{1}{I_0} \cdot \sum_{t=1}^n \frac{b_t}{(1 + a)^t} \quad 13.5.2-3$$

Todos los parámetros fueron definidos previamente.

### 13.5.3 Tasa de rentabilidad inmediata y año óptimo de la inversión

La tasa de rentabilidad inmediata ( $TRI$ ) corresponde a una medida de rentabilidad del proyecto considerando exclusivamente los beneficios del primer año de operación. Este indicador se utiliza para estimar el momento óptimo de inversión de un proyecto, el que queda definido en el primer año del horizonte de evaluación en que la tasa de rentabilidad inmediata es mayor o igual a la tasa de descuento social.

Es decir:

$$TRI = \frac{b_1}{I_0} \cdot 100$$

13.5.3-1

Donde:

*TRI*: Tasa de rentabilidad inmediata (o tasa de retorno del primer año) y corresponde al valor de la tasa de actualización social (*a*) que hace cero el valor actualizado neto del primer año [%].

*b*<sub>1</sub>: Beneficios del primer año de funcionamiento del proyecto.

*I*<sub>0</sub>: Inversión actualizada al año anterior al primero de funcionamiento.

## 13.5.4 Análisis de sensibilidad de la evaluación

### 13.5.4.1 Conceptos generales

Para medir la robustez de los indicadores de rentabilidad frente al comportamiento de determinadas variables de relevancia que presenten incertidumbre en su estimación, se realiza un análisis de sensibilidad.

Se deberá definir para cada variable seleccionada un rango probable de variación con relación al valor medio estimado, sensibilizando individualmente el impacto causado sobre los indicadores de rentabilidad.

### 13.5.4.2 Variables a sensibilizar

Sin perjuicio de que cada estudio, de acuerdo con sus características, plantee exigencias adicionales de sensibilización, se estima como mínimo calcular los indicadores de rentabilidad frente a las siguientes variables y sus respectivos rangos de variación:

Tabla 13.5.4-1  
Variables de sensibilización y rangos de variación

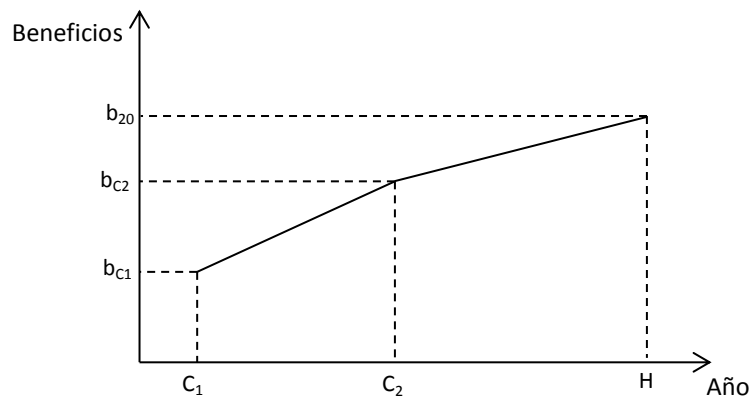
Variable	Rango
Costo global de la inversión	±20%
Valor de las expropiaciones	±25%
Beneficios de tiempo de viaje de usuarios de locomoción colectiva	±20%
Beneficios de tiempo de viaje a otros usuarios	±20%
Beneficios por otros costos de operación	±20%

## Sección 13.6 Reevaluación de proyectos

### 13.6.1 Consideraciones generales

Se dispone del estudio original de la estimación de los beneficios del proyecto ( $b_{C1}$  y  $b_{C2}$ ) determinados para el primer y segundo corte temporal ( $C_1$  y  $C_2$  respectivamente) y su proyección a todo el horizonte de evaluación ( $H = 20$  años), en la cual se considera una pendiente del 50% de la que se determinó entre los años modelados. Un esquema de esto se aprecia en la Figura 13.6.1-1 siguiente.

Figura 13.6.1-1  
Proyección de beneficios original



El proyecto a ser reevaluado debe ser el mismo en extensión y características que el de la evaluación original (longitud y perfil). Esto permite considerar válida la misma corriente de beneficios, trasladando el horizonte de evaluación en el número de años en que se posterga el primer año de operación.

## 13.6.2 Montos de Inversión

Para la reevaluación se considerará la inversión inicial al nuevo primer año de operación  $C_1^n$ , donde será necesario actualizar los precios unitarios de inversión de la situación base y del proyecto de cada una de las partidas de la evaluación original, manteniendo las cantidades de cada una de ellas.

## 13.6.3 Determinación del nuevo primer año

La determinación de  $C_1^n$  puede realizarse de dos formas distintas.

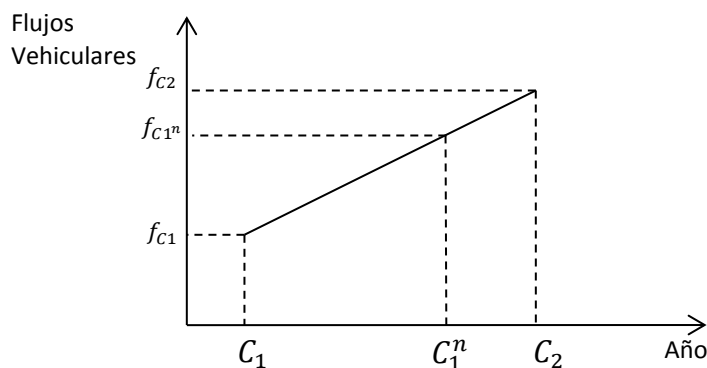
La primera considera utilizar directamente el nuevo año programado de entrada en operación del proyecto, y no requiere información adicional a la actualización de los costos.

La segunda forma requiere información actualizada sobre la demanda en el área de referencia, compatible con la obtenida en el estudio original, y se detalla a continuación.

En primer lugar, se estiman los flujos vehiculares para el nuevo primer año de operación. Partiendo de los flujos actualizados, denominados  $f_{CA}$ , se obtienen los flujos  $f_{C_1^n}$ , mediante la proyección de  $f_{CA}$  utilizando una tasa proveniente de estudios similares, un modelo estratégico disponible, la tasa de crecimiento del parque vehicular, u otra información.

Posteriormente, utilizando como base la proyección de flujos del estudio original entre sus cortes temporales  $C_1$  y  $C_2$ , es posible determinar  $C_1^n$  a partir de los flujos estimados  $f_{C_1^n}$ , como se muestra en la Figura 13.6.3-1.

Figura 13.6.3-1  
Determinación del nuevo primer año de operación



### 13.6.4 Actualización de beneficios

En la nueva corriente de beneficios se deberán estimar los beneficios de los años posteriores al horizonte de evaluación  $H$ . Para esto, un supuesto conservador para la evaluación es extrapolar los beneficios con tasa de crecimiento nula.

La nueva corriente de beneficios entonces será la indicada en las siguientes figuras, que distinguen entre los casos en que  $C_1^n$  resulta anterior o posterior al segundo corte modelado originalmente ( $C_2$ ).

Figura 13.6.4-1

Proyección de beneficios a partir del nuevo primer año de operación, caso  $C_1^n < C_2$

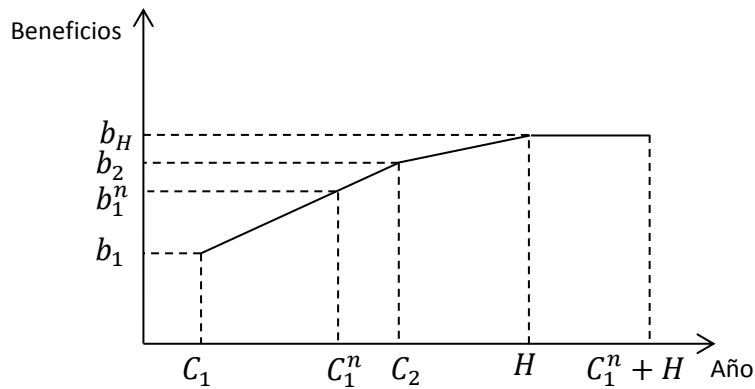
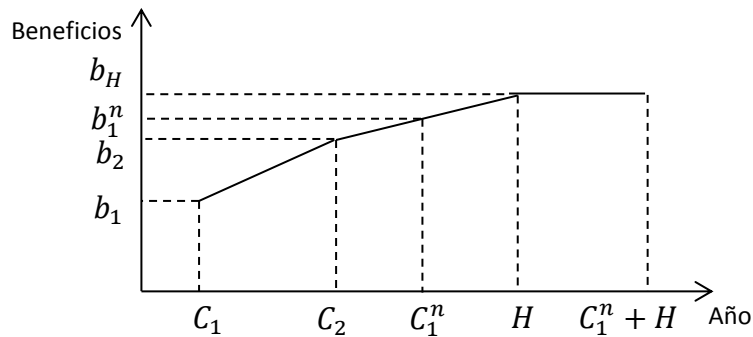


Figura 13.6.4-2

Proyección de beneficios a partir del nuevo primer año de operación, caso  $C_1^n \geq C_2$



## 13.6.5 Indicadores de rentabilidad

A partir de los beneficios proyectados y los costos de inversión actualizados, se obtienen los nuevos indicadores de rentabilidad utilizando el vector de precios sociales actualizado, de acuerdo con la metodología expuesta en la Sección 13.5.

## Capítulo 14 Análisis urbano-ambiental

### Sección 14.1 Identificación de impactos

El análisis de impacto urbano–ambiental se desarrolla en función del ciclo de vida y fase de análisis del proyecto, y se realiza sobre las variables urbano-ambientales que se deben caracterizar: población y entorno (ver Sección 3.3). En términos más precisos, para una adecuada detección de los impactos, se recomienda reconocer explícitamente los siguientes elementos:

#### 14.1.1 Población

Esta dimensión aborda todos aquellos impactos que afectan a usuarios, visitantes y residentes de las zonas intervenidas por el proyecto, ya sea de forma directa o indirecta sobre las siguientes categorías:

- **Salud:** Esta categoría recoge el impacto del proyecto en términos de bienestar y salud de la población asociada al área de influencia. En este sentido, las alternativas de proyecto mejor evaluadas son las que promueven una vida saludable como, por ejemplo, a través del incentivo de la caminata o uso de bicicletas como también aquellas que generen menor contaminación.
- **Seguridad:** Según este criterio, las mejores alternativas serán las que presenten soluciones adecuadas en relación a menores riesgos de accidentes en desplazamientos, cruces, y conflictos entre vehículos motorizados y usuarios no motorizados. También serán favorablemente calificadas las que presenten soluciones que no dan pie a actividades criminales o de vandalismo, y aquellas que presenten menos riesgos físicos a las personas en cuanto a caídas, tropiezos y accidentes personales en general.
- **Actividades y usos:** Esta categoría se refiere al impacto del proyecto en las actividades y usos existentes y su potencial de regeneración de borde. De esta forma las alternativas mejor calificadas son las que se alinean con los usos y actividades existentes, incentivando o entregando soporte para estas y no desplazándolas o generando situaciones de vacancia y abandono.

## 14.1.2 Entorno

Esta dimensión aborda todos aquellos impactos que afectan al paisaje natural o construido dentro de la ciudad. Se deberán reconocer impactos sobre las siguientes categorías:

- **Espacios públicos:** Esta categoría evalúa el desempeño de la alternativa en términos de su impacto en el uso del espacio público en aceras, plazas y parques. En este contexto, una alternativa bien calificada será una que permita mantener o aumentar los usos existentes del espacio público afectado, en contraste con las que implican una degradación del uso del espacio público, ya sea por reducir su superficie o generar interferencia de flujos.
- **Áreas verdes:** Esta categoría corresponde a una evaluación del impacto paisajístico en el entorno urbano inmediato del eje o del área de proyecto. En este contexto las mejores soluciones corresponden a las que no intervienen áreas verdes existentes y las que permiten la incorporación de arborización o nuevas áreas verdes. Mal calificadas serán las que requieren intervenir sobre áreas verdes consolidadas.
- **Áreas naturales:** Esta categoría evalúa el impacto del proyecto en áreas naturales tales como cauces, humedales, reservas ecológicas o cualquier otro espacio con valor ecológico en relación a su biodiversidad y paisaje. En este caso las mejores alternativas son las que no afectan de forma significativa a estos espacios, y más aún, les contribuyen o potencian.
- **Edificios públicos y patrimoniales:** Esta categoría mide el impacto inmuebles de interés público. De esta forma se calificarán positivamente las alternativas que no afecten edificios de interés patrimonial o que son parte de la infraestructura pública. Así mismo se considerará el impacto positivo de aquellas alternativas que podrían mejorar su accesibilidad, seguridad o entorno.
- **Edificios privados:** Esta categoría evalúa el impacto del proyecto sobre inmuebles privados. De esta forma se toma en consideración la compatibilidad de las alternativas con los usos de suelo existentes del eje, en él se considera el uso de suelo actual y los requerimientos de él en términos de entorno urbano. Junto con esto se evalúa la accesibilidad a propiedades. En este contexto las alternativas mejor evaluadas son aquellas que implican menor nivel de intervención al espacio privado y asimismo menor restricción sobre la accesibilidad a las propiedades de borde. Del mismo modo se evalúa el impacto sobre el desarrollo inmobiliario de borde de cada alternativa. En este contexto las alternativas mejor evaluadas corresponden a aquellas que generar menores restricciones al desarrollo de las propiedades de borde, con espacios peatonales seguros amplios y ordenados y que cuentan con accesibilidad vehicular a las propiedades.

## Sección 14.2 Estimación de impactos

Una vez detectados los impactos generados para cada alternativa que resultó socialmente rentable, se recomienda, para sistematizar el análisis, organizar la información describiendo:

- **Área de Influencia:** Debe identificarse tanto el área de impactos directos e indirectos.
- **Afectados:** Caracterizar sobre qué o quiénes se impacta.
- **Carácter:** Describir el sentido del cambio producido por el proyecto respecto a su estado previo (positivo, negativo, neutro) y reversibilidad (cambio reversible o irreversible)
- **Magnitud o Intensidad del Impacto:** Determinar la dimensión del cambio, comparando entre el valor impactado de un recurso sobre el valor total de dicho recurso en toda la zona.
- **Duración:** Identificar si el impacto es transitorio, temporal o permanente.
- **Período:** Identificar si los efectos se esperan durante el diseño, la construcción o la operación del proyecto.
- **Relevancia y certidumbre:** Determinar la significación y relevancia del impacto, en relación con la importancia del recurso afectado, y la probabilidad de su ocurrencia.

El desarrollo de esta actividad tiene especial importancia en la etapa de evaluación de alternativas preliminares. En ella, se compara cada alternativa de solución y la situación existente, poniendo énfasis tanto en los impactos durante la operación, como durante la construcción del proyecto. Particularmente interesan los impactos visuales, sobre los niveles de ruido y contaminación del aire, sobre la accesibilidad, sobre las actividades y usos, y sobre las áreas verdes existentes.

El producto de esta etapa debe ser un reporte con el nivel de impacto de cada alternativa rentable socialmente, y una priorización de cada una de ellas en relación a esos impactos y su relevancia.

En términos generales, se deben realizar estas tres actividades:

- Identificación y caracterización de los impactos.
- Análisis de relevancia (posiblemente) valoración de los impactos.
- Comparación y priorización de alternativas.

En la Tabla 14.1.2-1, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran, a modo de ejemplo, la identificación de las variables afectadas, los posibles impactos, y sus consecuencias o efectos.

El análisis de relevancia y valoración de los impactos se realiza mediante un sistema de ponderación o *ranking* que permita establecer el nivel de importancia de cada uno de ellos.

Dentro de los manuales específicos para desarrollar análisis multicriterio, se puede señalar CEPAL (2008).

Tabla 14.1.2-1  
Identificación y caracterización de los impactos

VARIABLES		CATEGORÍAS	IMPACTO	ASPECTOS AFECTADOS
Población	Salud y comodidad		Flujo Velocidad Congestión	Aire (Contaminación ambiental: cambio en concentración de contaminantes, aumento de enfermedades respiratorias)  Ruido (Contaminación acústica: efectos sobre sueño, concentración)
			Iluminación Destellos Sombras Bloqueo	Luz (Contaminación visual: efectos sobre el sueño) Visibilidad (Obstrucción de vistas)
			Vegetación Vistas Proporciones Diseño	Clima (calor, frío, viento, sombra)
	Seguridad		Rincones Desniveles Frentes ciegos Sitios eriazos	Seguridad ciudadana (Cambios en victimización)  Seguridad personal (Cambio en tasa de accidentes)
			Actividades Usos Costumbres	Desplazamiento Acceso a la propiedad Flujo visitas
	Usos no productivos (Cambios en áreas de recreación, descanso)			
Entorno	Paisaje natural y urbano	Espacios públicos	Construcción Demolición Remoción	Belleza y significado (Calidad, superficie y cantidad)
		Áreas verdes	Alteraciones a la accesibilidad	Belleza y significado (Especies, superficie y cantidad)
	Entorno construido y predios	Edificios o predios públicos y patrimoniales	Construcción Expropiación Demolición o daño Intrusión visual Alteraciones a la accesibilidad Sombras	Valor estético (Cambio de calidad)  Valor patrimonial (Pérdida de significado)
			Edificios o predios privados y patrimoniales	Expropiación Daño o Demolición Accesibilidad

## Referencias

- AASHTO (1993) AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 4th edition with 1998 supplement.
- AASHTO (2008) Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, Interim Edition: A Manual of Practice.
- AASHTO (2011) A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
- Allsop, R.E., Charlesworth, J.A. (1977) Traffic in a signal-controlled road network: an example of different signal timings including different routings. *Traffic Engineering Control* 18 (5), 262-264.
- Bar-Gera, H. (2002) Origin-based algorithm for the traffic assignment problem. *Transportation Science* 36, 398-417.
- CEPAL (2008) Manual Metodológico de Evaluación Multicriterio para Programas y Proyectos. *Serie Manuales* 58.
- Corporación Ciudad Accesible (2010) Manual de Accesibilidad Universal.
- Ministerio de Desarrollo Social – MDS (2013a) Metodología Simplificada de Estimación de Beneficios Sociales por Disminución de la Flota de Buses en Proyectos de Corredores con Vías Exclusivas en Transporte Urbano.
- Ministerio de Desarrollo Social – MDS (2013b) Metodología Simplificada de Evaluación Socio-económica Conjunta de Proyectos de Vialidad Urbana y Aguas Lluvias.
- Ministerio de Obras Públicas – MOP (2013) Manual de Carreteras.
- Ministerio de Planificación y Cooperación – MIDEPLAN (1992) Metodología simplificada de preparación y evaluación de proyectos de mantenimiento vial urbano (MANVU). *Inversión Pública, Eficiencia y Equidad*. 178-188.
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones – MTT (2012) Manual de Señalización de Tránsito.

- Ministerio de Vivienda y Urbanismo – MINVU (2008) Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo – MINVU (2009) Recomendaciones para el diseño de elementos de infraestructura vial urbana (REDEVU).
- SECTRA (2003) Recomendaciones de Diseño para Proyectos de Infraestructura Ferroviaria (REDEFE).
- SECTRA (2008) Actualización Metodología Análisis Sistema de Transporte de Ciudades de Gran Tamaño y Tamaño Medio (MESPE).
- SECTRA (2011) Metodología para la Formulación y Evaluación de Planes Maestros de Ciclorrutas.
- SECTRA (2012) Análisis Estratégico de Mejoras a la Circulación Peatonal.
- SECTRA (2013a) Análisis y Desarrollo Metodología de Evaluación Social de Proyectos Tácticos de Vialidad Urbana.
- SECTRA (2013b) Mediciones de Aforos de Tráfico y Perfiles de Carga en Servicios Troncales en el Gran Santiago.
- SECTU (1988) Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana (MESPIVU).
- SERVIU Región Metropolitana (2013) Diseño Universal en el Espacio Público.
- Sheffi, Y. (1985) Urban Transportation Networks. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Tian, Z. y Xu, F. (2006) Modelling the effects of pedestrians on intersection capacity and delay with actuated signal control. *Proceedings, 5th International Symposium on Highway Capacity*.
- Transportation Research Board (1985) Intersection Channelization Design Guide *NCHRP Report 279* (NCHRP 279).
- Transportation Research Board (2000) Highway Capacity Manual. Washington D.C. (HCM 2000).
- Unidad Operativa de Control de Tránsito. Manual de Programación y Modelación de Semáforos.