

REPUBLICA DE CHILE  
**COMISION DE TRANSPORTE URBANO**  
SECRETARIA EJECUTIVA

**MANUAL DE DISEÑO Y EVALUACIÓN SOCIAL  
DE PROYECTOS DE VIALIDAD URBANA**

SANTIAGO - CHILE  
1988

## AUTORES

La preparación de este Manual fue encargada por la Comisión de Transporte Urbano a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, a través de un Convenio suscrito entre esta y la Intendencia de la Región Metropolitana.

El equipo de trabajo estuvo compuesto por académicos de la Universidad de Chile y de la Pontificia Universidad Católica de Chile y por consultores de diversas empresas nacionales. Los principales responsables y las áreas que tuvieron a cargo son:

**Jaime Gibson A.** (U. de Chile): Coordinador del Manual y Encargado del Área de Diseño Operacional y Simulación de Tránsito (Capítulos 1, 2, 3, 4, 7 y 8).

**Joaquín de Cea Ch.** (P.U.C. de Chile): Coordinador Adjunto y Encargado del Área de Proyectos Estructurales (Capítulos 1 y 2, Secciones 3.2 y 9.6).

**Sergio González T.** (U. de Chile): Encargado del Área de Evaluación (Capítulos 9 y 10).

**Jaime Valenzuela S.** (Consultor): Encargado del Área de Diseño Físico (Sección 5.1 y Capítulos 6 y 11).

Participaron como especialistas, en las materias que se indican:

**Juan E. Coeymans A.** (P.U.C. de Chile): Medición y Estimación de Parámetros de Tránsito (Secciones 5.2 y 5.3).

**Juan de Dios Ortúzar S.** (P.U.C. de Chile): Aspectos Estadísticos de Mediciones y Valor del Tiempo de Viaje (Sección 5.2 y Acápites 9.3.3).

**Francisco Otava V.** (Consultor): Urbanismo y Medio Ambiente (Acápites 5.1.3 y Sección 6.2).

**Víctor Ramírez G.** (Consultor): Reposición de Servicios y Estimación de Costos de Inversión (Acápites 5.1.4, 5.1.5 y 9.2.2 y Secciones 6.3, 6.4, y 6.5).

En el desarrollo de este Manual se contó con la colaboración de otras numerosas personas, entre las cuales cabe mencionar a **Mónica Zucker G.** (Ing. Civil Matemático, U. de Chile) y a **Juan E. Cannobbio S.** (Ing. Civil, U. de Chile).

La edición del Manual estuvo a cargo de **Jorge Valeze J.** (Ing. Civil de Industrias, P.U.C. de Chile).

Como Contraparte Técnica actuó personal de la **Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Transporte Urbano**, coordinado por **Eduardo Núñez S.** (Ing. Civil, U. de Chile).

# **INDICE GENERAL**

## **CAPITULO 1: INTRODUCCION**

### **SECCION 1.1: Características Básicas de este Manual**

- 1.1.1 Presentación
- 1.1.2 El Proceso de Desarrollo de Proyectos de Vialidad Urbana
- 1.1.3 Cobertura
- 1.1.4 Enfoque Metodológico
- 1.1.5 Organización y Contenido

### **SECCION 1.2: Metodología General**

- 1.2.1 Clasificación de Proyectos
- 1.2.2 Fase de Análisis del Proyecto
- 1.2.3 Fase de Anteproyecto y Evaluación de Alternativas
- 1.2.4 Diseño Físico

## **PARTE I: ANALISIS DEL PROYECTO**

## **CAPITULO 2: TRATAMIENTO DE LA INFORMACION DE FLUJOS**

### **SECCION 2.1: Definiciones Básicas**

- 2.1.1 Tipología de Flujos
- 2.1.2 Cortes Temporales
- 2.1.3 Periodo de Referencia
- 2.1.4 Area de Referencia
- 2.1.5 Síntesis

### **SECCION 2.2: Mediciones en la Situación Actual**

- 2.2.1 Proyectos sin Reasignación de Flujos
- 2.2.2 Proyectos con Reasignación de Flujos

### **SECCION 2.3: Periodización**

- 2.3.1 Fundamentos
- 2.3.2 Método para Proyectos con Reasignación
- 2.3.3 Métodos para Proyectos sin Reasignación
- 2.3.4 Procedimiento para un Nudo Semaforizado
- 2.3.5 Procedimiento para Redes Semaforizadas

### **SECCION 2.4: Estimación de Flujos para Cortes Temporales**

- 2.4.1 Generación de Matrices Origen-Destino Actuales
- 2.4.2 Criterios Generales para la Estimación
- 2.4.3 Procedimientos de Estimación

## **CAPITULO 3: DIAGNOSTICO**

### **SECCION 3.1: Simulación de la Situación Actual en Proyectos sin Reasignación de Flujos**

- 3.1.1 Ambito de la Simulación
- 3.1.2 Modelación
- 3.1.3 Calibración

### **SECCION 3.2: Simulación de la Situación Actual en Proyectos con Reasignación de Flujos**

- 3.2.1 Ambito de la Simulación
- 3.2.2 Modelación
- 3.2.3 Calibración

### **SECCION 3.3: Análisis de la Situación Actual**

- 3.3.1 Enfoque
- 3.3.2 Identificación de Problemas
- 3.3.3 Estudio de, Conflictos Locales

### **SECCION 3.4: Flujos de Diseño Físico**

- 3.4.1 Conceptos Generales
- 3.4.2 Proyectos sin Reasignación de Flujos
- 3.4.3 Proyectos con Reasignación de Flujos

## **CAPITULO 4: GENERACION DE ALTERNATIVAS A EVALUAR**

### **SECCION 4.I: Formulación de Alternativas**

- 4.1.1 Definición de la Situación Base
- 4.1.2 Planteamiento de Alternativas
- 4.1.3 Prediseño Físico
- 4.1.4 Prediseño Operacional

### **SECCION 4.2: Selección de Alternativas**

- 4.2.1 Criterios Generales

## **CAPITULO 5: OBTENCION DE INFORMACION**

### **SECCION 5.1: Información del Terreno**

- 5.1.1 Generalidades
- 5.1.2 Topografía
- 5.1.3 Urbanismo y Ambiente
- 5.1.4 Infraestructura y Equipamiento
- 5.1.5 Mecánica de Suelos

### **SECCION 5.2: Datos de Tránsito**

- 5.2.1 Generalidades
- 5.2.2 Conteos de Flujos
- 5.2.3 Encuestas Origen-Destino
- 5.2.4 Tasas de Ocupación
- 5.2.5 Capacidades

5.2.6 Tiempos de Viaje

5.2.7 Accidentes

5.2.8 Longitudes de Cola

### **SECCION 5.3: Estimación de Parámetros de Tránsito**

5.3.1 Introducción

5.3.2 Capacidad de Intersecciones Semaforizadas

5.3.3 Capacidad de Intersecciones Prioritarias

5.3.4 Velocidades

## **PARTE II: ANTEPROYECTO Y SIMULACION DE ALTERNATIVAS**

### **CAPITULO 6: ANTEPROYECTO FISICO**

#### **SECCION 6.1: Trazado Geométrico**

6.1.1 Trazado en Planta

6.1.2 Trazado en Elevación

#### **SECCION 6.2: Urbanismo y Ambiente**

6.2.1 Caracterización de las Interferencias

6.2.2 Estimación de Costos de Expropiación

#### **SECCION 6.3: Firmes**

6.3.1 Aspectos Generales

6.3.2 Diseño de Pavimentos

#### **SECCION 6.4: Reposición de Servicios**

6.4.1 Aspectos Generales

6.4.2 Anteproyectos a Desarrollar dentro del Estudio

6.4.3 Anteproyectos Ejecutados por las Compañías

#### **SECCION 6.5: Estructuras**

6.5.1 Aspectos Generales

6.5.2 Diseño de Estructuras

## **CAPITULO 7: ANTEPROYECTO OPERACIONAL**

### **SECCION 7.1: Consideraciones Generales**

7.1.1 Definiciones

7.1.2 Tratamiento según Tipo de Proyecto

### **SECCION 7.2: Control de Tránsito**

7.2.1 Movimientos y Conflictos

7.2.2 Control del Uso de las Vías

7.2.3 Control del Uso de Intersecciones

7.2.4 Programación de Semáforos

### **SECCION 7.3: Esquemas de Desvíos durante la Construcción**

7.3.1 Criterios de Diseño

7.3.2 Especificación de los Esquemas

## **CAPITULO 8: MODELACION Y SIMULACION**

### **SECCION 8.1: Criterios Básicos**

8.1.1 Aspectos Generales

8.1.2 Modelación

8.1.3 Simulación

### **SECCION 8.2: Recomendaciones para la Modelación**

8.2.1 Recomendaciones Generales

8.2.2 Modelo para Asignación de Flujos

8.2.3 Modelo para Simulación de Redes

### **SECCION 8.3: Proceso de Simulación**

8.3.1 Etapas del Proceso

8.3.2 Optimización de la Programación de Semáforos

8.3.3 Iteración en Proyectos sin Reasignación

8.3.4 Iteración en Proyectos con Reasignación

### **SECCION 8.4: Uso de la Simulación**

8.4.1 Afinamiento del Anteproyecto

8.4.2 Resultados para Evaluación

8.4.3 Estimaciones Complementarias

### **PARTE III: EVALUACION SOCIAL DE ALTERNATIVAS**

## **CAPITULO 9: CONCEPTOS GENERALES Y EVALUACION ECONOMICA**

### **SECCION 9.1: Aspectos Generales de la Evaluación**

9.1.1 Objetivos

9.1.2 Fundamentos del Proceso de Evaluación

9.1.3 Impactos Considerados en la Evaluación Económica

9.1.4 Impactos Considerados en la Evaluación Social y Ambiental

9.1.5 Criterios de Rentabilidad y Proyección de Beneficios

### **SECCION 9.2: Costos de Inversión**

9.2.1 Aspectos Generales

9.2.2 Determinación de Costos de Inversión

### **SECCION 9.3: Beneficios Económicos**

9.3.1 Beneficios Provenientes del Tránsito

9.3.2 Otros Beneficios Económicos

9.3.3 Precio Social de los Recursos

### **SECCION 9.4: Análisis Costo-Beneficio de Corto Plazo**

9.4.1 Criterios de Rentabilidad de Corto Plazo

'Análisis de Sensibilidad

9.4.2 Análisis de Sensibilidad

9.4.3 Análisis de Grupos

## **SECCION 9.5: Análisis Costo-Beneficio de Largo Plazo**

9.5.1 Criterios de Rentabilidad de Largo Plazo

9.5.2 Proyección de Beneficios

9.5.3 Otros Análisis

## **SECCION 9.6: Análisis de Consistencia de Planes Estratégicos**

9.6.1 Generalidades

9.6.2 Análisis de Consistencia de Costos de Inversión

9.6.3 Análisis de Consistencia de Niveles de Servicio

# **CAPITULO 10: EVALUACION DE IMPACTOS SOCIALES Y AMBIENTALES**

## **SECCION 10.1: Aspectos Generales**

10.1.1 Introducción

10.1.2 Tipología de Impactos

## **SECCION 10.2: Impactos Sociales**

10.2.1 Cambios en el Uso del Suelo

10.2.2 Accidentes

10.2.3 Costos de Congestión durante la Construcción

## **SECCION 10.3: Impactos Ambientales**

10.3.1 Contaminación del Aire

10.3.2 Ruido

10.3.3 Impacto Visual

## **CAPITULO 11: PRESENTACION DE RESULTADOS**

### **SECCION II.1: Presentación de Diseños**

11.1.1 Generalidades

11.1.2 Presentación de la Información del Terreno

11.1.3 Presentación de los Prediseños

11.1.4 Presentación de los Anteproyectos

## **REFERENCIAS**

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

### SECCIÓN 1.1: CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE ESTE MANUAL

#### 1.1.1 PRESENTACIÓN

**1.1.1.1 Antecedentes generales.** Durante los últimos años, la Comisión de Transporte Urbano, a través de su Secretaria Ejecutiva (SECTU), ha ido desarrollando un marco de referencia en el que proyectos diferentes son analizados y evaluados en una forma homogénea, de acuerdo a un conjunto de normas y procedimientos predeterminados.

Como parte de esta labor, inspirada en el análisis de sistemas, se han gestado varios documentos metodológicos que definen herramientas y criterios técnicos para el estudio de problemas relacionados con el diseño, la operación y la evaluación de proyectos de vialidad urbana. Entre éstos vale la pena mencionar los siguientes: "Jerarquización de la Red Vial", (SECTU, 1981); "Metodología para la Evaluación Social de Proyectos de Inversión en Vialidad Urbana" (SECTU, 1982); "Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana (REDEVU)", (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1984) y 'Manual de Señalización de Tránsito', (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 1983). La aplicación de estas metodologías ha significado una evidente mejora en el nivel técnico de los estudios relativos a proyectos de inversión en vialidad urbana y en consecuencia un importante apoyo al proceso de decisión subyacente en el nivel político.

**1.1.1.2 Relación con documentos previos.** Este Manual sustituye a la anterior Metodología de evaluación citada. Manteniendo los principios en que ésta se funda, se ha procurado incorporar la experiencia recogida en los siete años en que ha estado en aplicación para mejorar sus procedimientos. Cambios mayores son la consideración de proyectos de carácter estructural y la inclusión de recomendaciones sobre diseño físico, consistentes con las REDEVU ya mencionadas. Por otra parte, se han integrado métodos y

programas computacionales de reciente aparición. En conjunto, este Manual es una extensión y actualización de dicha Metodología.

**1.1.1.3 Vigencia de este Manual.** A pesar de la amplitud de su cobertura, es de esperar que con cierta regularidad sean introducidas nuevas ampliaciones o modificaciones a los procedimientos establecidos. Para facilitar la actualización continua, se ha dado a este Manual una estructura flexible, que permite sustituir o añadir puntos sin reeditarlos por completo. Todas las páginas llevan impresa la fecha de su publicación, Diciembre 1988 en esta primera versión, y su posición en el índice. Así se llevará un registro actualizado del texto vigente de cada página, a medida que surjan modificaciones.

## **1.1.2 EL PROCESO DE DESARROLLO DE PROYECTOS DE VIALIDAD URBANA**

**1.1.2.1 Aspectos generales.** A la gestación, análisis y ejecución de proyectos de vialidad urbana subyacen dos procesos de índole diferente pero fuertemente relacionados. En primer lugar, uno de carácter técnico, en el que dados ciertos objetivos generales para el sector un conjunto de políticas definidas para alcanzarlos, se debe: detectar los problemas que afectan al sistema de transportes urbano; generar alternativas de solución; elegir de entre ellas las más promisorias tanto desde el punto de vista de diseño y operación como económico; y finalmente, realizar los estudios de ingeniería de detalle y ejecutar las obras diseñadas si se ha decidido implementarlas. Paralelo a este desarrollo de un proyecto, actuando en sus diferentes etapas, se mueve un proceso de decisión de carácter político que, sobre la base de la información entregada por el nivel técnico, tiene la finalidad de determinar qué se hace y cuándo se hace. En este acápite se pretende describir, de modo general, el primero de los procesos señalados.

**1.1.2.2 Dimensiones del proceso.** La Figura 1.1.2 (I) muestra en forma esquemática el proceso de desarrollo de proyectos de vialidad urbana. Se organiza en torno a dos dimensiones, que son las que definen las características del proceso en cada caso particular: sus **etapas** y las **clases de proyecto** consideradas. En términos muy gruesos es posible subdividir el desarrollo de un proyecto en cuatro etapas: generación de proyectos, desarrollo y selección de anteproyectos, proyecto definitivo y ejecución y seguimiento. Las dos primeras presentarán fases diferentes dependiendo, principalmente, del tipo de impactos que cada proyecto produzca sobre el sistema en su conjunto. A este respecto cabe distinguir ciertas clases de proyectos. Los párrafos siguientes tratan de éstas y del alcance de cada una de las etapas.

**1.1.2.3 Clases de proyectos.** Un criterio fundamental de diferenciación está dado por la naturaleza de los impactos esperados de un proyecto. En particular, si se prevé una modificación de la demanda de viajes en el área (generación, distribución y partición modal de los viajes). Esto da origen a dos clases: proyectos estructurales y no estructurales.

**a) Proyectos estructurales.** Son aquellos que inducen cambios significativos en las matrices origen-destino por modo. Desde el punto de vista del tratamiento de un proyecto conviene diferenciar en esta clase proyectos que pertenecen a un plan evaluado en un nivel estratégico que comprende, típicamente, toda la red de la ciudad pertinente, y proyectos que, por ausencia de estas herramientas, son estudiados individualmente con modelos ad-hoc de carácter estratégico.

**b) Proyectos no estructurales.** Son aquellos en que se puede suponer que no hay efectos sobre la demanda y sus impactos se producen en un área restringida de la ciudad. Si estos impactos o la inversión asociada al proyecto no superan umbrales preestablecidos, éste se define como menor y recibe un tratamiento especial. En otro caso, se denomina corriente.

**1.1.2.4 Generación de proyectos.** En general, esta etapa se extiende desde la identificación de problemas en el sistema hasta la proposición de "ideas de proyecto" o de "planes tentativos" (en el caso de conjuntos coherentes de proyectos estructurales) analizados a nivel de opciones de proyecto o líneas de acción diferenciables por el tipo o el ámbito de sus impactos.

**a) Proyectos no estructurales.** Sean éstos corrientes o menores la etapa de generación se traduce en la elaboración de un "perfil" que corresponde a una evaluación gruesa y rápida de una "idea de proyecto" propuesta para resolver un problema determinado. Los proyectos menores pasan directamente de esta etapa a la de proyecto definitivo si su perfil satisface las exigencias.

**b) Proyectos estructurales que pertenecen a un plan.** En este caso el proceso de desarrollo ha comenzado con la definición de escenarios de planificación, de estrategias de desarrollo e identificación de proyectos estructurales, para conformar paquetes coherentes, que constituyen planes potenciales. Estos son evaluados en el contexto de un estudio estratégico del que surge un plan elegido con una demanda determinada. Realizado esto es

necesario concebir un plan de implementación en el que a cada opción de proyecto considerada se le asigna una prioridad y una fecha tentativa de puesta en servicio. Así, desde este plan salen hacia la etapa siguiente del proceso opciones de proyecto que deben ser analizadas en mayor detalle.

**c) Proyectos estructurales que no pertenecen a un plan.** En este caso la primera fase de esta etapa coincide con la única fase señalada en el inciso a. Sin embargo, por tratarse de un proyecto de carácter estructural con impactos importantes sobre el sistema, normalmente se presentará un rango mas amplio de líneas de acción (**opciones**) para resolver el problema detectado. Por esto, antes de pasar a la etapa siguiente del proceso se requiere de una fase de análisis de ellas. Así por ejemplo, si el problema abordado es de falta de capacidad en un corredor en esta etapa se deberá analizar, si se construye una nueva vía o se aumenta la capacidad de una existente. Solamente una vez seleccionada una opción se podrán estudiar diferentes formas (**alternativas**) de materializarla. Al igual que en el caso anterior, por existir cambios en la demanda, el análisis de opciones implica el uso de modelos que permitan estimarlos. El tipo de modelo a utilizar dependerá de las herramientas y de la información disponible en cada caso particular.

**1.1.2.5 Desarrollo y selección de anteproyectos.** Esta etapa existe para todos los proyectos señalados, con la excepción de los proyectos no estructurales menores.

**a) Proyectos no estructurales Corrientes.** La "idea de proyecto" es analizada en profundidad y pasa por fases sucesivas de diseño y evaluación, en grados crecientes de detalle, para materializarse en uno o más anteproyectos técnicamente aceptados y económicamente rentables. Uno de ellos pasará a la etapa de diseño definitivo, si se decide ejecutar el proyecto.

**b) Proyectos estructurales que provienen de un plan evaluado.** Una vez que un plan ha sido evaluado en un estudio de nivel estratégico y que se ha definido el plan de implementación de sus proyectos, éstos en forma individual, y muchas veces parcial, deben pasar del nivel de opción en que han sido considerados, al nivel de alternativa de proyecto.

Así, estos proyectos entran a la fase inicial de esta etapa en forma similar a los demás tipos de proyecto. Las particularidades en este caso dicen relación con el acoplamiento de los análisis de nivel estratégico y táctico y con el análisis de consistencia de costos y beneficios obtenidos en ambos niveles.

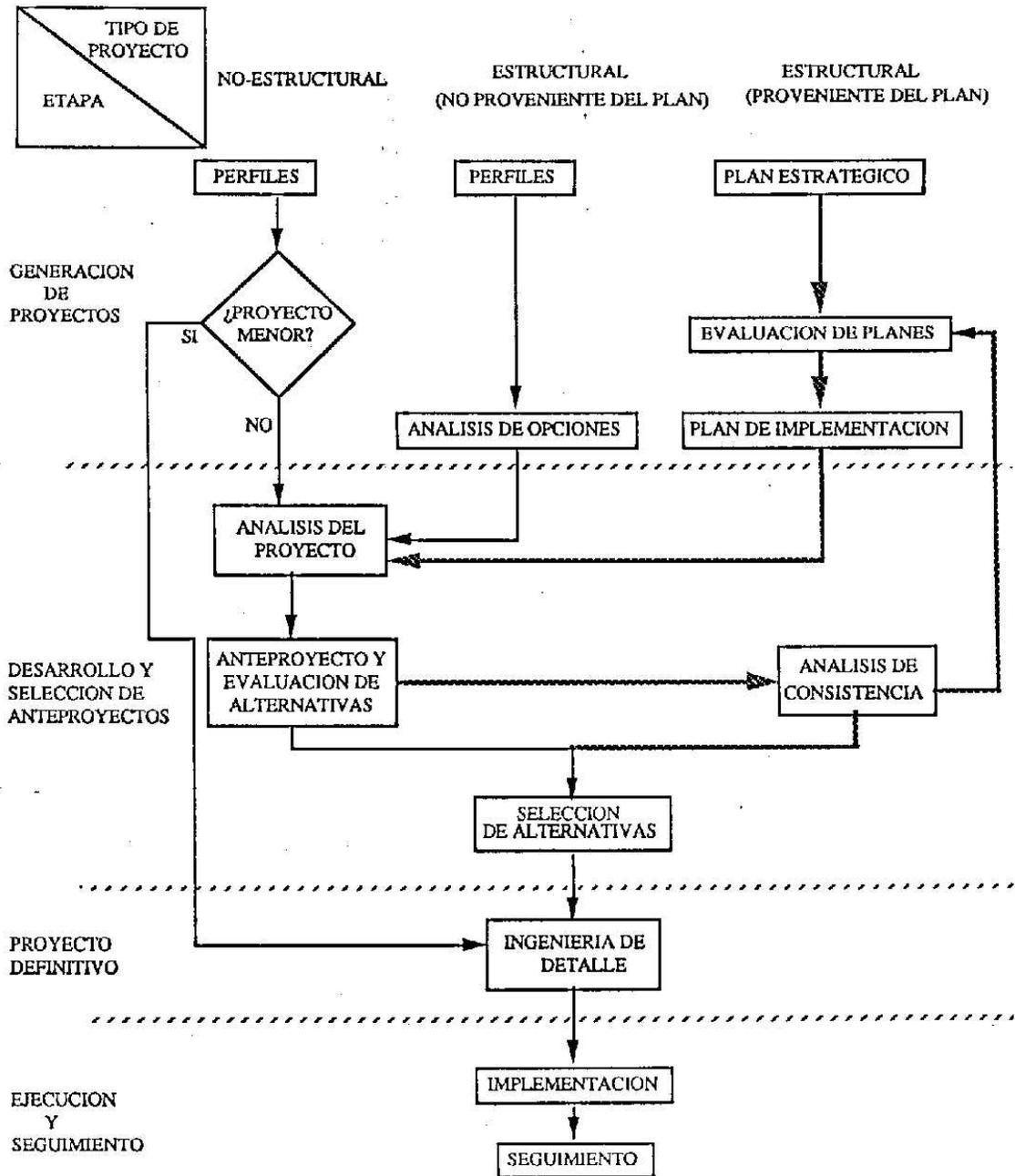
**c) Proyectos estructurales que no provienen de un plan evaluado.** Dentro de esta etapa estos proyectos siguen exactamente el mismo camino que los demás proyectos estructurales.

**1.1.2.6 Proyecto definitivo y ejecución y seguimiento.** Estas últimas dos etapas son iguales para todos los tipos de proyecto, en términos de las fases involucradas y de las actividades metodológicas de cada una de ellas. La ingeniería de detalle debe realizarse respetando a las características definidas en la etapa anterior para el anteproyecto seleccionado. Antes de aprobar el proyecto para su ejecución es necesario comparar los costos finalmente obtenidos con aquellos que fueron usados en la evaluación económica. Ejecutado el proyecto, se entra en una etapa de seguimiento que tiene dos objetivos fundamentales:

- verificar que los problemas originalmente identificados en el sistema han sido resueltos o atenuados en la forma que se había supuesto en la etapa de definición de anteproyectos y evaluación;
- recomendar ajustes menores al proyecto cuando luego de la implementación surgen problemas operacionales no previstos.

Figura 1.1.2(I)

DESARROLLO DE UN PROYECTO DE VIALIDAD URBANA



**1.1.3.1 Límites del análisis.** De las cuatro etapas descritas en forma somera en el acápite 1.1.2, este Manual cubre únicamente la de desarrollo y selección de anteproyectos. Respecto a tipos de proyecto, sin perjuicio de una tipificación más completa presentada en el acápite 1.2.1, se ocupa de los proyectos estructurales y no estructurales corrientes. En lo sucesivo, al mencionar los proyectos no estructurales deberá entenderse que se hace alusión a los corrientes.

**1.1.3.2 Tipo de análisis.** La delimitación anterior implica que el presente Manual entrega metodologías para abordar el análisis táctico de proyectos estructurales y no estructurales. Dicho análisis tiene como objetivo elaborar anteproyectos que luego de evaluados sirven de base a proyectos de ingeniería de detalle. La metodología propuesta es aplicable al análisis de proyectos individuales, quedando explícitamente excluido de ella el análisis de planes estratégicos. No obstante, dado que el análisis táctico de proyectos estructurales provenientes de un plan estratégico evaluado requiere un conocimiento mínimo de la metodología utilizada en el estudio de éstos, se sugiere al lector referirse al informe final del "Estudio de Evaluación y Desarrollo del Sistema de Transporte Urbano de la Ciudad de Santiago".

**1.1.3.3 Restricciones especiales.** Esta versión del Manual no incluye el tratamiento de proyectos de repavimentación urbana y de proyectos referidos a la infraestructura y operación específicas de sistemas de transporte público. Por otra parte, la consideración de aspectos sociales y ambientales en la evaluación está desarrollada a un nivel todavía muy primario.

## **1.1.4 ENFOQUE METODOLOGICO**

**1.1.4.1 Introducción.** El análisis de sistemas de transporte urbano exige tratar conflictos que en la mayoría de los casos son complejos y de muy variada índole. El margen de intervención para intentar resolverlos, o al menos atenuarlos, y el rango de los impactos que producen sobre el sistema diferentes formas de intervención son también muy amplios. En consecuencia, al analista se ve expuesto a un problema abierto que exige amplitud de tratamiento, de manera de no excluir a priori alternativas de solución que pudieran resultar adecuadas. Sin embargo, esta necesidad de no restringir la libertad del analista choca con la aspiración de dar a todo proyecto un tratamiento homogéneo, que haga posible un proceso justo de comparación y priorización de proyectos que compiten frente a un presupuesto fijo de inversión. El modo de abordar esta dualidad flexibilidad-uniformidad es lo que se define el enfoque de la metodología propuesta en el presente Manual.

**1.1.4.2 Bases del enfoque.** Con el objeto de propender a la uniformidad en el tratamiento de los proyectos, la metodología está basada en: una estructura que contempla fases definidas de análisis; una tipificación de proyectos, y el uso de un conjunto seleccionado de herramientas (programas computacionales) de simulación. A esto debe agregarse una serie de procedimientos comunes para una variedad de actividades metodológicas. Por otro lado, la flexibilidad es resguardada mediante un tratamiento diferenciado por tipo de proyecto, con énfasis en los aspectos más relevantes en cada caso, la amplitud de posibilidades abiertas al analista para modelar una determinada situación y la constante interacción a lo largo del análisis entre diseño, simulación y evaluación.

**1.1.4.3 Interacción diseño-simulación-evaluación.** Un tratamiento aislado de los problemas relativos al diseño físico de una obra vial, al comportamiento (operación) del sistema global constituido por la infraestructura, los vehículos, los peatones, el diseño operacional y el entorno, y a la evaluación de las alternativas generadas, limita fuertemente el ámbito de las soluciones posibles y muy frecuentemente su calidad. Un enfoque en el que estas importantes dimensiones del análisis interactúan, tiende a aumentar la riqueza de las soluciones ofrecidas. Tanto la simulación de la operación como la evaluación de los

esquemas desde los inicios del análisis, entregan información que el analista debe considerar ya sea para replantear algunos de sus diseños preliminares o para generar otros. Dada la complejidad de los problemas a tratar, muchas veces la intuición que el analista usa para generar esos esquemas es insuficiente. El uso de herramientas adecuadas de simulación no sólo permite obtener información necesaria para estimar costos y beneficios de una alternativa, sino además permite detectar impactos que pueden hacer necesaria una vuelta a los diseños físico y operacional para introducir modificaciones.

**1.1.4.4 Flexibilidad en la modelación.** El desarrollo de un proyecto de vialidad urbana no debe ser considerado un proceso cerrado en el que cada una de las actividades de las distintas etapas descritas en el acápite 1.1.2 pueden ser definidas por completo. No es posible, ni deseable, definir un conjunto de reglas fijas que guíen inequívocamente la labor del analista. Tampoco es conveniente limitar a priori su creatividad en actividades tales como la proposición de alternativas y su modelación para posterior simulación. La metodología si debe dar ciertas garantías de que una serie de aspectos importantes sean considerados. Con estos propósitos se recomienda el uso de programas computacionales que admiten modelaciones bastante diversas, junto con proponer procedimientos encaminados a un buen uso de esos instrumentos según las características del proyecto.

**1.1.4.5 Simulación de la situación actual.** La existencia de grados de libertad en la modelación sumada al hecho que todas las situaciones, (base o alternativas de proyecto) en que descansa la evaluación son hipotéticas, implica un peligro real de discrecionalidad en los resultados. Para reducirlo, se incorpora la exigencia de simular la situación actual. Aquí se pondrá a prueba el estilo de modelación lo que hará más confiables las simulaciones de las situaciones hipotéticas, ya que se derivarán de cambios identificables de redes calibradas. Esta actividad es también útil para el proyectista pues refuerza su conocimiento y comprensión de los problemas que presenta el área en estudio.

**1.1.4.6 Evaluación.** La concepción amplia de un proyecto vial de que se ha hablado, como intervención en un conjunto de actividades sociales y en un espacio urbano, se extiende a la evaluación. Ella incorpora una gama de impactos económicos, sociales y

ambientales. Por otra parte, en cuanto a los efectos sobre los viajes mismos, no son incluidos en esta etapa del proceso beneficios asociados a cambios en la demanda. El supuesto clave es que las alternativas para materializar un proyecto, que son el objeto de estudio en la etapa que cubre este Manual, no provocan cambios significativos en ella. En consecuencia, los proyectos estructurales son evaluados, en rigor, en el nivel estratégico; aquí sólo se elige una alternativa de diseño. En este contexto, la evaluación económica está basada en el consumo de ciertos recursos, en particular tiempo de los usuarios y combustible. Para estimarlo apropiadamente y de forma consistente, se usa (con raras excepciones) un mismo programa computacional, adaptable y que representa condiciones de tráfico mixto: TRANSYT. También el supuesto mencionado incide sobre los criterios de rentabilidad social que son empleados. Como los beneficios son crecientes en el tiempo, los indicadores de rentabilidad del primer año adquieren relevancia especial (Marglin, 1967). No obstante, son generados además indicadores de largo plazo, con procedimientos especiales según el tipo de proyecto, salvo para proyectos de gestión de tránsito no estructurales. Con estos lineamientos, se logra homogeneidad en la evaluación económica sin perjuicio de tratar con flexibilidad diversos tipos de proyecto. Esta flexibilidad se manifiesta en el modo de estimar los beneficios en cada caso. Para uniformar la estimación de costos se entrega una clasificación de unidades de obra y su desglose para cálculo de precios sociales.

**1.1.4.7 Fases del análisis.** La etapa de desarrollo y selección de anteproyectos ha sido estructurada en dos fases sucesivas de nivel de detalle y objetivos diferentes. La primera, denominada **análisis del proyecto**, tiene como objetivo central generar buenas alternativas de proyecto. Algunas de ellas son desarrolladas a nivel de prediseño (ver 1.2.4.3a) y sometidas a un proceso de evaluación preliminar, del que se seleccionan las más promisorias. Estas pasan a la segunda fase, **anteproyecto y evaluación de alternativas**. El objetivo en este caso es afinar y desarrollar los prediseños anteriores para llevarlos a nivel de anteproyecto (ver 1.2.4.3b), simular las alternativas consideradas y evaluarlas. La estructuración descrita facilita la interacción entre diseño físico, diseño operacional y evaluación desde prácticamente el inicio del proceso. El contenido de estas fases, con los

fundamentos metodológicos para el desarrollo de las actividades correspondientes, se trata en la Sección 1.2.

## **1.1.5 ORGANIZACION Y CONTENIDO**

**1.1.5.1 Organización.** En el aspecto formal este Manual ha sido organizado en la perspectiva de actualización continua, expuesta en el párrafo 1.1.1.3. Se divide en tres Partes, cada una de las cuales consta de una serie de Capítulos. En total hay 11 Capítulos, numerados correlativamente, que están estructurados en Secciones (título de dos dígitos) y éstas, a su vez, en acápite (títulos de tres dígitos). El texto se presenta al interior de estos acápite, subdivididos en párrafos. Cada uno de éstos tiene un título y está numerado con cuatro dígitos pudiendo contener incisos identificados por letras. Las páginas están numeradas en su línea inferior a cuatro dígitos, indicándose el acápite al que pertenecen y su posición relativa dentro de él. En la misma línea figura la fecha en que se produjo la página.

**1.1.5.2 Estilo de redacción.** El manejo simultáneo de criterios y secuencia de actividades comunes, por una parte, de interacciones -a distinto nivel- entre esas actividades, por otra, y de aspectos metodológicos específicos por tipo de proyecto, por una tercera, configura un difícil problema de redacción. Las repeticiones se hacen inevitables y si se limitan mucho, el uso de una parte determinada del Manual como material de consulta parcial se haría incómodo por encontrar múltiples referencias cruzadas. Se ha optado por una estructura basada en Capítulos con unidad temática, situados dentro del Manual en la posición dentro del proceso de trabajo en que adquieren mayor importancia. Sin perjuicio de ello, cuando una misma actividad es realizada en más de una fase, se incluye algún acápite en que son tratadas las particularidades que tiene en ella y se remite, para los puntos más generales, al Capítulo correspondiente. Asimismo, se ha intentado ofrecer un panorama introductorio en cada Sección o acápite. Con todo, se recomienda una lectura completa del Manual antes de emplear sus procedimientos.

**1.1.5.3 Estructura y contenido.** Las tres Partes del Manual son las siguientes: Análisis del Proyecto; Anteproyecto y Simulación de Alternativas; y Evaluación de Alternativas. A continuación se indica sucintamente el contenido de cada una de ellas.

**a) Parte I: Análisis del Proyecto.** Consta de cuatro Capítulos (2 al 5). El Capítulo 2 está dedicado al tratamiento de la información de flujos. El Capítulo 3 se concentra en la descripción de las actividades tendientes a proporcionar el diagnóstico de la situación en estudio. Este se basa principalmente en la simulación y análisis de la situación actual. El Capítulo 4 trata de la generación de alternativas de proyecto y de su selección (evaluación preliminar), a nivel de prediseño. Finalmente, el Capítulo 5 contiene un conjunto de procedimientos relacionados con la recolección de información y la estimación de parámetros de tránsito.

**b) Parte II: Anteproyecto y Simulación de Alternativas.** Esta Parte, con tres Capítulos (6 al 8), contiene los procedimientos para producir el anteproyecto físico y operacional de las alternativas seleccionadas y llevar a cabo su simulación. El Capítulo 6 está dedicado al anteproyecto físico y cubre los niveles de definición y métodos de diseño requeridos para especificar los distintos tipos de obras así como la consideración de los aspectos urbanísticos y ambientales en la concepción de ellos. El Capítulo 7 está consagrado al anteproyecto operacional, es decir, a la regulación de las condiciones de uso de la vialidad existente o prevista. Incluye criterios de diseño y procedimientos para ejecutarlo. El Capítulo 8 comprende recomendaciones y procedimientos relativos al proceso de modelación y simulación con los programas computacionales. Abarca materias de detalle sobre su uso y procedimientos más generales para hacer interactuar el diseño y la simulación.

**c) Parte III: Evaluación Social de Alternativas.** Consta de tres Capítulos (9 al 11). El Capítulo 9 comienza con una presentación de los conceptos generales en que se apoya la metodología de evaluación para luego describir los procedimientos de la evaluación económica. El Capítulo 10 está destinado a la evaluación de los impactos sociales y ambientales de los proyectos. Finalmente, las normas para la presentación de los resultados de los estudios figuran en el Capítulo 11.

**1.2.2.9 Selección de alternativas.** De todas las alternativas generadas, se trata de elegir un conjunto reducido para análisis ulterior. La atractividad de cada una es sopesada mediante indicadores de rentabilidad social, derivados de estimaciones preliminares de beneficios y costos, y el estudio de otros impactos.

## SECCION 1.2: METODOLOGÍA GENERAL

### 1.2.1 CLASIFICACION DE PROYECTOS

**1.2.1.1 Objetivos.** Desde el punto de vista de la metodología propuesta en este Manual, el propósito de establecer una clasificación de proyectos es doble. Por una parte, definir procesos diferenciados para dar un tratamiento adecuado al diverso carácter de los proyectos de vialidad urbana. Por otra, asociar aparatos metodológicos específicos a cada tipo de proyecto de manera que, en primer lugar, se compatibilice la diversidad del alcance del análisis con la homogeneidad de principios en su evaluación y, segundo, el costo y duración de su estudio sean razonables, concentrándose los recursos en los aspectos más importantes en cada caso.

**1.2.1.2 Fundamentación.** La definición de procesos diferenciados y aparatos metodológicos específicos para cada tipo de proyecto se basa en el supuesto que es posible identificar correctamente en una etapa temprana de la gestación de un proyecto, qué tipo de impactos serán relevantes. A pesar que la definición preliminar de un proyecto lleva implícita la voluntad de modificar una situación en un sentido determinado, lo que conlleva la esperanza de obtener cierto tipo de impactos, no es posible garantizar que éstos se produzcan o que de producirse sean los más importantes. Esta incertidumbre hace que la clasificación de proyectos propuesta en el Manual apunte a diferenciaciones gruesas, deconsecuencias substanciales en cuanto a lo metodológico.

**1.2.1.3 Factores de clasificación.** Existen múltiples formas de clasificar un proyecto de vialidad urbana. La que se presenta en este Manual concierne a tres factores de suma importancia: al impacto del proyecto sobre la estructura de la demanda en el sistema de transporte urbano, al impacto sobre la estructura de flujos en las redes de dicho sistema y al aspecto dominante de la intervención sobre el sistema. En el primer caso se hablará de proyectos estructurales y no estructurales, en el segundo de proyectos con y sin reasignación de flujos y en el tercero a proyectos de infraestructura o de gestión.

Dado que los proyectos estructurales siempre producen reasignaciones, esta clasificación da origen a seis tipos diferentes de proyectos: estructurales de infraestructura y de gestión; no estructurales con y sin reasignación, de infraestructura o de gestión.

**1.2.1.4 Clasificación de proyectos según impacto en la demanda.** Como se ha adelantado en el párrafo 1.1.2.3, la característica fundamental de un proyecto estructural es su impacto en la demanda, a nivel de la generación, distribución o la partición modal de los viajes. Esto implica un cambio en las matrices de viajes por modo. Un proyecto no estructural, en cambio, no produce cambios relevantes en este sentido. Luego, al concebir un proyecto de este tipo sólo se debe esperar cambios en la operación del sistema analizado.

**1.2.1.5 Clasificación de proyectos según impacto en la estructura de flujos.** Aquí se diferencia entre proyectos que implican un cambio en las rutas utilizadas por los usuarios del sistema (cambios en la asignación de los viajes). Por definición, los proyectos estructurales implican reasignaciones. Los no estructurales pueden ser de ambos tipos.

**1.2.1.6 Clasificación según aspecto dominante de la intervención.** Como se ha mencionado, aquí se consideran proyectos de infraestructura y de gestión. Obviamente todo proyecto tiene asociadas, en algún grado, componentes de ambos tipos. Es prácticamente imposible concebir proyectos puros en términos de infraestructura y gestión. Sin embargo, es siempre posible precisar en cuál de estos terrenos se sitúa el objetivo del proyecto.

**1.2.1.7 Implicancias metodológicas de la clasificación de proyectos.** Como se mencionó en el párrafo 1.2.1.3 la clasificación descrita da origen a seis tipos de proyecto diferentes. Aunque esto, en rigor, da origen a seis metodologías distintas, es necesario advertir que las diferencias entre ellas se producen solamente en algunas de las actividades consideradas en el proceso de desarrollo de proyectos de vialidad urbana. A continuación se indica en cuáles, según el tipo de proyecto.

**a) Proyectos estructurales vs proyectos no estructurales.** La diferencia metodológica principal se presenta en la evaluación. Los proyectos no estructurales se evalúan enteramente en la etapa de desarrollo y selección de alternativas. En el caso de los proyectos estructurales, en cambio, la evaluación se realiza en un nivel estratégico y en la etapa de desarrollo y selección de anteproyectos solamente se comparan alternativas y se realiza un análisis de consistencia entre los costos y beneficios resultantes y los obtenidos en el estudio anterior.

**b) Proyectos con reasignación vs proyectos sin reasignación.** Aquí las diferencias principales se refieren a las actividades de -modelación y simulación. El hecho que exista o no reasignación de flujos incide normalmente en el tamaño del área de influencia del proyecto y en la necesidad de usar un modelo para predecir la elección de ruta de los usuarios. Esto implica el uso de programas computacionales adicionales y la recolección de datos considerablemente más numerosos.

**c) Proyectos de infraestructura vs proyectos de gestión.** Al tratar proyectos de infraestructura o de gestión se observan diferencias importantes tanto en la actividad de diseño como en la de evaluación. En los proyectos de infraestructura predomina el diseño físico y en los de gestión, el operacional. Respecto a la evaluación, la diferencia fundamental radica en que los proyectos de gestión requieren tratar la estimación de beneficios en mayor detalle porque sus beneficios, aunque altos en relación a los costos, están más sujetos a incertidumbre.

## **1.2.2 FASE DE ANALISIS DEL PROYECTO**

**1.2.2.1 Objetivo.** La finalidad de esta fase es generar buenas alternativas de proyecto, a nivel de prediseño, que deben ser desarrolladas y evaluadas en la fase siguiente. Además, proveer la información de base necesaria para el análisis. Conviene recordar que en el caso de los proyectos no estructurales dicha información proviene casi exclusivamente de mediciones en terreno y de estimaciones obtenidas a partir de ellas. En cambio, en el caso de los proyectos estructurales además de la información anterior es necesario utilizar la demanda (en forma de matrices de viajes por modo) resultante de un estudio de carácter estratégico o de un estudio de análisis de opciones de índole similar al estratégico.

**1.2.2.2 Actividades metodológicas.** A continuación se enumeran las principales actividades metodológicas de esta fase y se indica las relaciones existentes entre ellas. Se hace también referencia a los casos en que algunas de estas actividades, comunes a todos los tipos de proyectos, presentan tareas diferentes para proyectos específicos. La primera actividad de esta fase es la definición del área de referencia, aquella en que se estima que se producirán los impactos del proyecto analizado. Luego, es necesario definir la semana tipo. A continuación se debe recolectar información a través de mediciones de terreno o de otras fuentes. En el caso de proyectos estructurales, ésta se refiere básicamente a información de demanda proveniente de un estudio estratégico. Dado todo lo anterior, se aborda en paralelo la periodización y la modelación de la situación actual con la que se hace posible simular la situación actual, para calibrar el modelo construido a partir de la realidad. Para los distintos períodos en que se ha dividido la semana tipo y para cada corte temporal (años futuros) considerado debe estimarse flujos. En el caso de los proyectos estructurales esto consiste en tomar del estudio estratégico matrices de viaje por período y corte temporal. La fase de análisis continúa con la generación de alternativas y elaboración de prediseños. Finalmente, la actividad de selección de alternativas para la fase siguiente implica simulación de las alternativas generadas, a partir de las que es posible obtener estimación de beneficios. Estos, junto a los costos provenientes de los prediseños elaborados, permiten realizar una evaluación preliminar. A continuación se presenta una descripción gruesa de las principales actividades aquí mencionadas.

**1.2.2.3 Definición del área de referencia y semana tipo.** Los análisis que deben realizarse en esta fase se

dan en un determinado contexto espacio-tiempo. Esto implica definir un área de referencia, en la que se medirán los impactos del proyecto y una semana tipo o representativa del año. Si el proyecto corresponde a un área con fluctuaciones estacionales importantes el año debe dividirse en temporadas, cada una de las cuales tendrá una semana tipo.

**1.2.2.4 Mediciones y recolección de antecedentes.** En líneas generales se requiere información para simular la situación actual, para estimar información para los años futuros (cortes temporales) y para la actividad de diseño físico. Esta proviene de mediciones de terreno, fundamentalmente, y de recopilación de antecedentes de otros estudios. Este último es el caso de la información de demanda de proyectos estructurales a partir de estudios estratégicos.

**1.2.2.5 Periodización.** Esta actividad se realiza para obtener, al interior de cada semana tipo, una serie de períodos diferentes entre si pero internamente homogéneos. Cada uno de estos períodos debe ser analizado separadamente para la estimación de beneficios. Para estimar los beneficios anuales del proyecto es necesario determinar ponderadores por período que transformen los beneficios de cada período a beneficios de la(s) semana(s) tipo.

**1.2.2.6 Modelación y calibración de la situación actual.** Esta actividad se realiza principalmente para contrastar los resultados de la simulación con la realidad y dar confiabilidad a los resultados de la evaluación. A estos efectos se emplean los programas computacionales, de manera distinta según tipo de proyecto.

**1.2.2.7 Generación de alternativas.** En general, existen múltiples formas de materializar un proyecto. La finalidad de esta actividad es definir alternativas que difieren en sus características físicas u operacionales sin que el tipo o el alcance de los impactos que

producen sean diferentes. La concepción de estas alternativas se apoya en el diagnóstico proporcionado por la actividad anterior.

**1.2.2.8 Elaboración de prediseños.** La finalidad de esta actividad y una descripción breve de las principales tareas que deben realizarse aparecen en el inciso 1.2.4.3a).

**1.2.2.9 Selección de alternativas.** De todas las alternativas generadas, se trata de elegir un conjunto reducido para análisis ulterior. La atractividad de cada una es sopesada mediante indicadores de rentabilidad social, derivados de estimaciones preliminares de beneficios y costos, y el estudio de otros impactos.

### **1.2.3 FASE DE ANTEPROYECTO Y EVALUACION DE ALTERNATIVAS**

**1.2.3.1 Objetivos.** Esta fase tiene dos objetivos principales. Por un lado, los prediseños elaborados en la fase anterior deben ser afinados y desarrollados a nivel de anteproyecto para obtener un buen diseño físico. Por otro, y no menos importante, se debe producir información relevante y confiable que permita sustentar la elección de una alternativa en cada proyecto y la definición de prioridades de ejecución entre diversos proyectos.

**1.2.3.2 Actividades metodológicas.** Hay tres áreas metodológicas claramente distinguibles en esta fase: diseño a nivel de anteproyecto, simulación de tráfico y evaluación. Todas ellas comprenden una serie de actividades, íntimamente relacionadas. Los anteproyectos físico y operacional entregan la información requerida para modelar las alternativas en estudio. La actividad de modelación busca representar las características físicas y operacionales de dichas alternativas y de la situación base. El modelo resultante en cada caso (alternativas y base) es la red pertinente dentro del área de influencia del proyecto. La actividad siguiente es la de simular las redes modeladas y su finalidad es obtener indicadores de su comportamiento que constituyen información básica para la evaluación. Realizado todo lo anterior, los costos de construcción son estimados a partir del anteproyecto, los beneficios de la operación de cada alternativa se obtienen de los resultados de la simulación y un estudio simultáneo permite estimar otros impactos, entre los que destacan aquellos sobre el medio ambiente. Con esta información de entrada se aborda el análisis costo-beneficio de corto y largo plazo, de cada alternativa. Aunque la secuencia descrita de actividades es bastante general, conviene explicitar algunas diferencias importantes en el caso de analizarse proyectos estructurales. La principal es que la evaluación propiamente tal se realiza en el nivel estratégico, donde en general se analiza un plan. En el nivel táctico, como ya se ha mencionado, se analiza un proyecto individual de dicho plan, considerando sin embargo la demanda (matrices de viajes por modo) del plan en su conjunto. No existe en este caso situación base, por lo que la actividad de evaluación se reduce a comparar alternativas, considerando la de menor costo entre ellas como base. Una vez seleccionadas una o más de ellas es necesario producir

información para el análisis de consistencia entre los resultados de los niveles táctico y estratégico.

**1.2.3.3 Diseño físico.** El alcance de esta actividad a nivel de anteproyecto y una somera descripción de las principales tareas involucradas figuran en el inciso 1.2.4.3b.

**1.2.3.4 Diseño operacional.** Consiste en la especificación de las condiciones de uso de la vialidad, mediante la determinación de un conjunto de regulaciones que constituye el sistema de control de tránsito. Aunque se refiere al uso de la vialidad, una determinada regulación puede implicar modificaciones menores al diseño físico. De ahí que sea crucial la relación en ambos sentidos entre diseño físico y diseño operacional en esta fase. También es clave su interacción con la simulación para optimizar algunas variables de control.

**1.2.3.5 Modelación y simulación.** Para evaluar una determinada alternativa de diseño es necesario predecir las características de la circulación en el área de influencia del proyecto con la finalidad de estimar sus beneficios. Esto requiere modelos que de alguna forma representen las interacciones existentes entre los diferentes elementos del sistema, es decir, los efectos a nivel de la red. Así, la red, incluidas las interacciones entre vehículos, peatones, infraestructura, control de tráfico, etc, constituye un modelo de la realidad que se estudia, cuyo comportamiento se intenta predecir. Dado que en la mayoría de los casos no existen fórmulas analíticas que expliquen tales relaciones, normalmente se usan técnicas de simulación. Las herramientas de simulación (programas computacionales) entregan indicadores del comportamiento de las redes generadas. Un análisis de estos resultados permite cuantificar una amplia gama de impactos operacionales de los esquemas planteados.

**1.2.3.6 Estimación de costos y beneficios.** Esta actividad tiene como finalidad proveer toda la información necesaria para la evaluación de alternativas. Respecto a los costos de inversión, para la mayoría de las partidas en obras de construcción se da un precio de mercado a partir del cual se estiman precios sociales. Existen casos en que se debe estimar

costos sociales en forma especial. Entre ellos vale la pena mencionar el precio de reposición de servicios, de las expropiaciones y de las áreas verdes o áreas de uso recreacional. Respecto de los beneficios, se distingue entre los que se deben a impactos sobre el tráfico vehicular, que se estiman a partir de la simulación, y beneficios sobre otros usuarios del sistema. Como información adicional para la toma de decisiones se hace un análisis de grupos, el que permite presentar los beneficios de un proyecto según los diferentes grupos de usuarios del sistema.

**1.2.3.7 Evaluación.** La evaluación de alternativas tiene como objetivo esencial entregar la información relevante para apoyar el proceso de toma de decisiones. La evaluación económica incluye análisis costo-beneficio de corto y largo plazo. En general, los proyectos de gestión no estructurales, dado que tienen bajos costos de inversión y cortos períodos de vida útil, están sujetos solamente a un análisis de corto plazo basado en el cálculo de indicadores tales como la tasa de rentabilidad inmediata y valor presente neto del primer año. Los proyectos de infraestructura, en cambio, con costos de inversión mayores y más larga vida útil, están sujetos a los análisis de corto y largo plazo. Hay que realizar análisis de sensibilidad a una serie de variables para estudiar la influencia sobre la rentabilidad social estimada de la incertidumbre asociada a ellas. Este análisis es complementado con el de los impactos sociales y ambientales para ofrecer una perspectiva amplia, y lo más rigurosa posible, de los efectos de la alternativa sobre el conjunto de actividades y personas que tienen relación con el área sujeta a proyecto.

**1.2.3.8 Análisis de consistencia de planes estratégicos.** Como se ha mencionado, los proyectos de tipo estructural se evalúan en el nivel estratégico. En el nivel táctico, tanto en la fase de análisis del proyecto como en la de anteproyecto y evaluación de alternativas, en lugar de realizar una evaluación corriente, dado que no existe situación base, sólo se compara alternativas. Aquellas que resulten seleccionadas deben pasar en rigor a un análisis de consistencia en que costos y beneficios se deben comparar anal con sus homólogos del nivel estratégico. La comparación de costos es simple y se realiza a nivel de partidas de obra. La comparación de beneficios, en cambio, no se puede realizar por cuanto en el nivel estratégico se obtiene el beneficio del plan completo, en tanto en el nivel

táctico los beneficios estimados para una alternativa dada son diferenciales respecto a otra alternativa considerada base. Debido a lo anterior se realiza una comparación de niveles de servicio, bajo el supuesto que si éstos son consistentes también lo serán los beneficios.

## **1.2.4 DISEÑO FISICO**

**1.2.4.1 Contenido.** La presente metodología de evaluación económica contiene criterios, métodos, especificaciones y referencias aplicables al proceso de definición matemática y de representación gráfica de los diseños viales cuya materialización se evalúa.

**1.2.4.2 Objetivos.** La presente metodología persigue orientar la actividad del diseño vial urbano hacia procedimientos que favorecen sus objetivos. El diseño vial tiene como objetivo inmediato definir la composición, geometría y posición de la plataforma vial al interior de la plataforma pública. Además, debe tratar de percibir la gravitación de lo vial en lo público y sobre lo privado, conciliando los intereses derivados de la necesidad de desplazamientos relativamente seguros y rápidos con los intereses más amplios de la comunidad. Para tales efectos se clasifica a los miembros de la comunidad en cuestión como habitantes (trabajadores, estudiantes y moradores) y transeúntes (de paso y de visita). El objetivo último es el mejoramiento integral, sistemático y eficiente del espacio público (ver 1.2.4.4.a).

**1.2.4.3 Fase del diseño.** En los estudios de evaluación de proyectos de vialidad urbana se ha distinguido dos fases: “Prediseño” y “Anteproyecto”. En la primera de fases se bosquejan las ideas de las cuales surgirán los prediseños alternativos y se definen éstos a un nivel que permita hacer una evaluación económica de los mismos. En la segunda fase se agrega información al estado anterior del estudio, mediante representaciones gráficas de las materias que hasta ese momento hayan sido solamente consideradas, y mediante cálculos que precisen la posición, forma y cuantía de las obras ya representadas.

**a) Fase de prediseño.** En esta primera fase se debe representar, sobre planimetrías del terreno, la planta de los prediseños; con sus eventuales afecciones a la propiedad, los dispositivos de señalización y control, y el trazado y características principales de los servicios que deban modificarse. En esta fase no se exige cálculos para definir posiciones o dimensiones exactas de los elementos del prediseño, sino tan sólo representación y cuantificación aproximadas. Por otra parte, los aspectos urbanísticos y ambientales, así

como los elementos de pavimentación, iluminación, plantaciones, mobiliario y protección, no deben ser necesariamente representados, pero sí considerados para efectos del cálculo de los costos. Ver detalles y referencias en 4.1.3.

**b) Fase de anteproyecto.** En esta segunda fase se debe completar la representación de los diseños hasta abarcar todos los elementos mencionados en el literal anterior. La geometría de los elementos de infraestructura vial y de servicios, así como las afecciones a la propiedad que resulten del diseño, deberán además ser objeto de cálculos para determinar con exactitud sus posiciones, dimensiones y costo. Los elementos de señalización y control: señales verticales, demarcación, semáforos, detectores, botoneras y otros; los elementos de seguridad: iluminación, rejas, barreras y cierres, y los elementos básicos del ornato urbano: plantaciones y mobiliario, deberán ser cabalmente representados en la etapa de anteproyecto.

#### **1.2.4.4 Definiciones.**

**a) El Espacio público.** El espacio público se entiende aquí como la fracción del espacio nacional que se ha constituido como patrimonio colectivo, y como medio para el ejercicio de la necesidad y del derecho de comunicación física de ciudadanos entre sí y de éstos con sus cosas.

**b) Sistema de transporte urbano.** Aquella parte del espacio público, ocupado o afectado por la infraestructura de transporte de personas y de sus cosas -junto con los medios administrativos, físicos y técnicos presentes en el diseño, operación y control de esta infraestructura constituye un área social. Sistema de Transporte Urbano es el nombre que se da a esta área cuando constituye objeto de sistematización.

**c) La plataforma pública.** Se llama plataforma pública a la superficie que separa las componentes subterránea y aérea del espacio público.

**d) La plataforma vial.** Es el subconjunto continuo de la plataforma pública que resulta de excluir de esta última las superficies -edificadas o baldías, marginales o incluidas- que tengan otros usos, definidos por ley o por planos reguladores. Ejemplos relevantes de tales excepciones son parques, cauces y plazas. La plataforma vial es el objeto específico del diseño vial y es la unión de tres tipos de superficies viales: vehiculares, peatonales y mixtas. Esta clasificación se basa en una división simple -presencia o no de medios multiplicadores de la velocidad- y permite subdivisiones según el uso demandado o previsto de las superficies así clasificadas. Las superficies en cuestión son materia de las “Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana (REDEVU)” (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1984), que las presenta de acuerdo a la estructura presentada a continuación.

## ESQUEMA

				Referencia REDEVU
VEHICULARES	CALZADAS	Pistas	comunes sólo bus ciclopistas	3.502.202
		Bandas	estacionamiento s ciclobandas Bermas, s.a.c	
	ESTACIONAMIENTOS SEGREGADOS			3.502.3
MIXTAS	PASAJES			3.401
	CALLES VEREDA			
	CRUCES	De calzada		3.402
		Accesos		3.403
	SEPARADORES	Bandejones		3.302.101
Medianas			3.302.102	
PEATONALES	BANDAS	Veredas		3.302.101
		Otras	Verdes Equipamiento Detenciones	3.302.2
	ESPACIOS DISCONTINUOS			3.302.2
	DISPOSITIVOS ESPECIALES			3.302.3

# **PARTE I**

## **ANÁLISIS DEL PROYECTO**

## **CAPITULO 2: TRATAMIENTO DE LA INFORMACION DE FLUJOS**

### **SECCION 2.1: DEFINICIONES BASICAS**

#### **2.1.1 TIPOLOGIA DE FLUJOS**

**2.1.1.1 Conceptos fundamentales.** Los flujos son una medida de los viajes que se realizan en un periodo y lugar determinados. Pueden entonces referirse a distintos entes físicos que viajan y a diversos contextos espacio-tiempo. Es necesario siempre precisar de qué medida se trata, especificando entes y contextos. Los primeros pueden ser: vehículos, diferenciables por categoría, o personas. Normalmente, los flujos de pasajeros se obtienen multiplicando los de vehículos por una tasa media de ocupación. Salvo indicación en contrario, en este Manual la palabra “flujos” se refiere a los vehiculares.

**2.1.1.2 Contexto espacio.-tiempo.** Los flujos y tasas de ocupación pertinentes en cada estudio son los existentes o previstos en un área y un periodo definidos, que se establecen en los acápites 2.1.3 y 2.1.4. Dentro de esa región del espacio- tiempo ambas variables pueden especificarse de diversas maneras. Desde el punto de vista del espacio cabe hablar de flujos entre pares de zonas (matriz origen-destino) o flujos en una sección determinada de vía. Según se elija la sección, surgen flujos en un tramo de vía (arco de un modelo), en un movimiento particular de una intersección o en un acceso a ésta. Lo mismo se puede decir de la tasa de ocupación. A su vez, flujos y tasas de ocupación varían en el tiempo de modo que se emplea su valor medio en ciertos periodos de razonable homogeneidad interna. Cuántos y cuáles periodos considerar depende de la actividad (medición, diseño, evaluación) y del tipo de proyecto. Su determinación es abordada en las Secciones 2.2 y 2.3 de este Manual. Debe prestarse atención, al ejecutar los procedimientos contenidos en el Manual, a la especificación precisa de dichas variables que corresponde, pues se usan varias.

**2.1.1.3 Categorías de vehículos.** La red vial urbana es utilizada por una gama de vehículos que difieren en sus características físicas y operacionales. Estas diferencias son, al menos a partir de cierto grado, relevantes para el diseño y simulación de proyectos de mejoramiento de la red por lo que interesa conocer la combinación de vehículos que hacen o harán uso de sus elementos. Con este fin se establecen ocho categorías básicas en el ámbito urbano, extendiendo el concepto de vehículo a todo ente móvil:

- Automóviles particulares (incluye vehículos livianos de reparto) .
- Taxis.
- Buses y Microbuses (movimiento de pasajeros por dos puertas)
- Taxibuses (movimiento de pasajeros por una puerta).
- Camiones.
- Biciclos.
- Peatones.
- Otros.

Estas categorías se denominan básicas porque, en principio, no es aceptable hacer agrupaciones de ellas pero si subdivisiones. Es obligatorio disponer de datos de flujos para las cinco primeras y de tasa de ocupación para las cuatro primeras. La incorporación de las tres últimas, así como eventuales subdivisiones de las categorías básicas son función de los requerimientos de cada estudio.

**2.1.1.4 Unidades.** Toda variable de flujo, definida espacial y temporalmente y por categoría, debe expresarse en unidades/hora, cualesquiera sean dicha definición o el periodo y método de medición o estimación. La unidad a emplear presenta problemas desde el punto de vista de la agregación. Si simplemente se suman los flujos de diversas categorías que, por ejemplo, realizan un mismo movimiento, se obtiene una cantidad expresada en vehículos por hora (veh/hr). La unidad 'veh' es heterogéneo pues depende de la composición del tráfico. Por ello, existen unidades de referencia a las que son convertidos todos los flujos mediante factores de equivalencia. Dos unidades son importantes:

- vehículo equivalente (veq), que es un automóvil particular;
- automóvil directo equivalente (ADE), que es un veq que sigue directo en una intersección.

Aunque teóricamente es preferible usar los flujos y las capacidades asociadas en veh/hr, los programas computacionales disponibles para simulación y asignación en redes trabajan más consistentemente usando veq/hr. En consecuencia, el empleo de una u otra unidad no es indiferente y en este Manual se especifica cuándo usar cada una de ellas. Por su parte, la tasa de ocupación no ofrece dificultades. siempre se expresa en personas por vehículo (pax/veh).

**2.1.1.5. Factores de equivalencia.** La conversión de flujos heterogéneos a unidades homogéneas se lleva a cabo mediante factores de equivalencia. Estos factores dependen del fenómeno para el cual se quiere establecer la equivalencia. Sin embargo, en el tráfico urbano suelen tener un rol decisivo las intersecciones y corrientemente se aplican sólo factores de equivalencia referidos a capacidad de ellas. Estos factores pueden incorporar dos aspectos: categoría de vehículos y movimiento, que se tratan normalmente por separado y como valores multiplicativos. Tanto flujos como capacidades pueden afectarse por uno de ellos o ambos. La cuestión es que las dos variables queden en las mismas unidades. No obstante, hay poderosas razones teóricas para preferir el uso de veh/hr o veqlhr. Esto implica que los flujos, que son medidos o estimados en veh/hr, **sólo sean afectados por factores según categoría de vehículo**. Los factores por movimiento se aplican únicamente a las capacidades, con los procedimientos que se describen en los acápites 5.3.2 y 5.3.3. En ausencia de datos locales para los factores por categoría de vehículo pueden usarse los valores de la Tabla 2.1.1 (I).

**TABLA 2.1.1 (1)**  
**FACTORES DE EQUIVALENCIA POR CATEGORIA**

<b>Categoría</b>	<b>Factor (veq/veh)</b>
Automóviles particulares	1,00
Taxis ocupados	1,00
Taxis vacíos	1,00 – 1,35(1)
Buses y Microbuses	2,00
Taxibuses	1,65
Camiones	2,00 – 2,50 (2)
Biciclos	0,20 – 0,60 (3)

Fuente : Coeymans y Neely (1984); Gibson, Saavedra y Spoerer (1982)

(1) Depende del comportamiento en la zona del estudio.

(2) Depende del número de ejes.

(3) Depende del tipo particular de vehículo (bicicleta, moto, etc.) y de las características físicas de la vía (v.g. pendiente, carpeta de rodado).

Si bien hay alguna evidencia de que el comportamiento de la locomoción colectiva en paraderos da lugar a la introducción de factores de equivalencia más altos (Gálvez y Martínez, 1984) es más conveniente tener en cuenta este tipo de fenómenos a través de cambios en el flujo de saturación básico (ver acápite 5.3.2).

## **2.1.2 CORTES TEMPORALES**

**2.1.2.1 Generalidades.** La estimación de los beneficios de un proyecto de vialidad urbana se apoya en la simulación de su operación. Como ésta varía a lo largo de la vida útil de la obra en forma no lineal, dependiendo de la naturaleza del proyecto, es necesario simular una o más condiciones de operación. Estas son las representativas de determinados años que se denominan cortes temporales. A éstos se agrega el año en que se realizan las mediciones (situación actual) que es empleado para calibrar modelos, generar alternativas de diseño y, en los proyectos de carácter estructural, proveer una base para la adaptación de las estimaciones de demanda del nivel estratégico al táctico. Debe disponerse de información, proveniente de mediciones o estimaciones, acerca de los flujos y tasas de ocupación para cada uno de estos años. En seguida se especifica, según tipo de proyecto, qué cortes temporales hay que considerar.

**2.1.2.2 Proyectos estructurales.** Como éstos inducen modificaciones en la demanda es necesario apoyarse en las estimaciones realizadas en la etapa previa por la que atraviesan tales proyectos. Entonces, los cortes temporales serán los definidos en ella; generalmente son tres.

**2.1.2.3 Proyectos no estructurales de infraestructura.** En este caso, no hay estimaciones previas a las cuales atenerse. Pero existen diferencias sensibles si se espera o no que el proyecto produzca reasignaciones significativas.

**a) Sin reasignación de flujos.** Es suficiente un corte temporal: el primer año de funcionamiento del proyecto, dados los métodos de evaluación y diseño que establece este Manual.

**b) Con reasignación de flujos.** En este caso es imprescindible contar con una apreciación del funcionamiento de la red en un futuro mediano para que el diseño y la evaluación sean apropiados. Pero como hay que recurrir a métodos proyectivos (no hay modelación de la demanda en estos proyectos) estimaciones a muy largo plazo

carecen de contabilidad. Es entonces razonable fijar dos cortes temporales: el primer año de funcionamiento del proyecto y diez años después.

**2.1.2.4 Proyectos no estructurales de gestión.** Por esencia estos proyectos son susceptibles de experimentar cambios en el corto plazo. No tiene sentido preguntarse por sus características de operación dentro de varios años. Pero si están sujetos a las indicaciones de este Manual es porque conllevan impactos o inversiones de cierta importancia. Esto hace aconsejable que su diseño y evaluación contemplen una vida útil no excesivamente limitada. Por esta razón, aunque basta con un corte temporal éste se sitúa tres años después de la situación actual.

### **2.1.3 PERIODO DE REFERENCIA**

**2.1.3.1. Representación de un corte temporal.** La información requerida de flujos y tasas de ocupación en cada corte temporal debe ser representativa de las condiciones a lo largo de él. Sin embargo, es impracticable hacer estimaciones hora a hora, o día a día, del año. A pesar de que dichas variables tienen fluctuaciones no despreciables, de diversas longitudes de onda temporal, no es preciso recogerlas todas explícitamente. Los modelos de simulación que se recomiendan en este Manual emplean métodos que introducen el efecto de las perturbaciones aleatorias y por otra parte, en el ámbito urbano las fluctuaciones tendenciales de tipo estacionaria son rara vez marcadas. Por estos motivos es suficiente considerar una semana como representante del año, ya que en ella se incluyen las variaciones tendenciales de orden horario y diario que son las principales. En caso que un proyecto esté planeado en un área sujeta a fluctuaciones estacionales significativas (un balneario, por ejemplo) puede dividirse el año en, temporadas, cada una de las cuales queda representada por una semana.

**2.1.3.2 Semana tipo.** La(s) semana(s) representativa(s) de cada corte temporal tiene(n) 7 días de 24 horas. Pero en algunas horas el tráfico tiene niveles muy bajos y también hay fuerte similitud entre los 5 días típicamente laborales (lunes a viernes). No se comete mayor error ni en diseño ni en evaluación si se reduce la semana a:

- un día laboral, de 7.00 a 23.00 horas
- Sábado, de 9.00 a 23.00 horas
- Domingo de 10.00 a 22.00 horas

Atendiendo a las características particulares de un proyecto, pueden desplazarse las horas inicial y final indicadas pero no la cantidad de horas contempladas en cada día de la semana.

Lógicamente, el día laboral pesa por cinco. Esto da una semana tipo de 106 horas pero con datos para 42 horas. Cada año tiene 52 semanas de éstas, o cantidades menores que suman

52 si hay más de una semana tipo. Todo proyecto, cualquiera sea su naturaleza, debe evaluarse sobre esta base temporal en la estimación de beneficios para evitar sesgos en los indicadores de rentabilidad social. No obstante, para efectos de simulación, la semana tipo se subdivide en períodos internamente homogéneos en proyectos sin reasignación de flujos. Si hay reasignación, se simula, como mínimo, tres horas determinadas y se estiman los beneficios en las restantes a partir de ellas. Los métodos pertinentes se describen en la Sección 2.3.

## **2.1.4 AREA DE REFERENCIA**

**2.1.4.1. Generalidades.** En los acápites precedentes se han establecido pautas para la especificación de la dimensión temporal de flujos y tasas de ocupación. Este acápite se destina a hacer lo propio en la dimensión espacial. El criterio fundamental es que los flujos (y tasas de ocupación) requeridos para el diseño y evaluación de un proyecto de vialidad urbana son aquellos que circulan al interior del área en que éste producirá impactos significativos. Siendo el concepto claro, hay dificultades para materializarlo. La primera es la existencia de una circularidad: para obtener datos de flujos que se usarán para diseñar hay que definir un área cuyos límites dependen del diseño. La segunda es cómo, aún dado el diseño, prever antes de modelar dónde se producirán efectos significativos y dónde no. La tercera es que cuando se espera que haya reasignaciones, interesan los flujos origen-destino y los vehículos que pasan por el área pueden tener el origen, el destino, o ambos fuera de ésta, lo que implica disponer también de información sobre su exterior. Ninguna de estas dificultades tiene una solución precisa: hay que abordarlas ejerciendo el juicio profesional. El modo en que se presentan varia con el tipo de proyecto y en lo que sigue se formulan consideraciones que pueden contribuir a una delimitación apropiada. Con todo, debe tenerse en mente que el problema se plantea en dos niveles distintos:

- primero, para especificar las variables a medir o estimar;
- segundo, para definir los límites de las redes a modelar para la evaluación, tarea que es posterior.

Cabe pues que el área de referencia inicial sea alterada una vez conocidas las alternativas a evaluar, lo que podría conducir a realizar mediciones y estimaciones complementarias (ver acápite 4.2.1).

**2.1.4.2. Delimitación para proyectos sin reasignación.** En este caso hay que obtener flujos y tasas de ocupación sólo para movimientos dentro del área. Entonces el área debe comprender la zona definida como sujeta a proyecto en el estudio (nudo, tramo o conjunto

de ellos) más la intersección semaforizada adyacente a cada nudo, aguas arriba y aguas abajo, siempre que no diste más de 500 metros.

**2.1.4.3. Delimitación para proyectos con reasignación.** En este caso hay que obtener matrices origen-destino para los vehículos que no siguen un recorrido fijo, y flujos por recorrido para éstos. Para delimitar el área hay que incluir cambios previsibles en la asignación y en los recorridos de transporte colectivo.

**a) Proyectos de carácter estructural.** Estos habrán pasado por una modelación previa a nivel estratégico sobre cuya base es posible identificar qué vías próximas a la sujeta a proyecto muestran reasignaciones sensibles con él. Pero hay que advertir que no es éste un procedimiento mecánico: es concebible que un proyecto determinado provoque reasignaciones en arcos muy lejanos en la red estratégica pero no por ello éstos han de formar parte del área de referencia. Si no es probable que las alternativas de diseño que se estudiarán afecten esas reasignaciones de manera sustantivo, no hay razón para considerarlos. Es decir, se trata de discriminar en qué región los cambios que produce el proyecto son sensibles a las alternativas de diseño. Con este criterio se han de fijar los límites del área de referencia. Como estos límites deben coincidir con el cordón en que se realicen encuestas origen-destino, normalmente estarán explicitados en los requerimientos del estudio, sin perjuicio de que puedan ser modificados a la vista de mayores antecedentes. El procedimiento de determinación de estos límites debería seguir, aproximadamente, las siguientes etapas:

- Obtención de flujos de equilibrio sobre la red estratégica correspondiente al plan que contiene el proyecto estructural en estudio. Este resultado deberá estar disponible en la evaluación estratégica.
- Preparación de una red estratégica que excluya al proyecto estructural en estudio, a partir de la red anterior y simulación de su comportamiento. Para esto se debería usar el modelo de transporte de equilibrio empleado en el estudio de nivel estratégico, con asignación de los vehículos de itinerario fijo (buses, taxibuses y

taxis colectivos). Este procedimiento permite obtener flujos vehiculares totales de equilibrio.

- Comparación de los dos conjuntos de flujos de equilibrio obtenidos anteriormente y definición de los límites del área de referencia. Como ya se mencionó, la obtención de estos límites no es mecánica ni automática. El conocimiento de la situación estudiada y la experiencia del analista en situaciones similares serán de mucha utilidad al realizar esta tarea.

**b) Proyectos no estructurales.** Aquí no hay modelación previa que aporte información. Una perspectiva útil para hacer la delimitación es pensarla como la fijación de la posición del cordón para encuestas origen-destino. Así vista, al propósito general de abarcar la zona de cambios significativos se agregan consideraciones prácticas como aprovechar barreras naturales, eludir intersecciones muy complejas o evitar que alguna ruta interior sea atravesada más de una vez por el contorno del área.

**2.1.4.4 Zonificación para proyectos con reasignación.** Dados los límites del área de referencia, su interior debe zonificarse con suficiente detalle y su exterior de manera más gruesa. En el interior hay que prestar especial atención a los núcleos generadores de 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 sirve para generar las matrices origen-destino con que serán alimentados los modelos de asignación. Es probable que en el proceso de calibración de éstos 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 matriz original y, en cambio, muy costosos los que implican desagregaciones.

## **2.1.5 SINTESIS**

**2.1.5.1 Variables a considerar.** Son dos: flujos y tasas de ocupación. Ambas se definen por categoría de vehículo y un contexto espacio-tiempo que se resume en los párrafos siguientes. Se expresan en veh/hr y pax/veh, respectivamente, admitiéndose agregaciones de flujo sólo por categoría, en unidades de veqlhr, mediante los factores de equivalencia correspondientes. El efecto de virajes y otros fenómenos análogos debe introducirse en la capacidad. Las categorías a emplear serán estipuladas en los requerimientos de cada estudio.

**2.1.5.2 Definición espacial de las variables.** Para proyectos sin reasignación se necesitan ambas variables para cada movimiento dentro del área de referencia. Para proyectos con reasignación, interesan: los flujos origen-destino, basados en una zonificación del área de referencia y su exterior, para las categorías de vehículos susceptibles de elegir ruta; flujos por recorrido para las categorías de ruta fija y, adicionalmente, ciertos flujos por movimiento para fines de calibración (sólo en situación actual) que se explican en el acápite 2.2.2.

**2.1.5.3 Definición temporal de las variables.** Hay que disponer de información sobre flujos y tasas de ocupación, sean por movimiento u O-D, para la situación actual y, según el tipo de proyecto, determinados cortes temporales. Para la primera se harán mediciones y para los últimos, estimaciones. Los valores de las variables, en cada caso, corresponderán a la media en periodos determinados de una o más semanas tipo, que representan una fracción conocida del año.

## SECCION 2.2: MEDICIONES EN LA SITUACION ACTUAL

### 2.2.1 PROYECTOS SIN REASIGNACION DE FLUJOS

**2.2.1.1 Especificaciones generales.** Para este tipo de proyectos las variables se miden para cada movimiento (o acceso, en ciertos casos). Los datos deben cubrir toda la semana tipo, definida en el párrafo 2.1.3.2. Hasta la fecha no se han realizado estudios en el país que permitan identificar semanas representativas de un año, o de una época de él, o bien aplicar factores a los valores de una cierta semana para acercarlos a la media global. Tampoco hay información procesada sobre el patrón de variación horaria a la que recurrir para expandir mediciones realizadas en determinadas horas. Mientras no aparezcan tales estudios, y habida cuenta de la gran importancia de esta clase de datos en el diseño y evaluación de proyectos de vialidad urbana, sólo cabe señalar algunas pautas que, la experiencia sugiere, producen un razonable equilibrio entre calidad de la información y recursos consumidos para obtenerla. Es suficiente hacer mediciones en una semana, siempre que ella no presente particularidades: días festivos, clima inusual, eventos infrecuentes, etc. A su vez, el día laboral puede construirse promediando datos de dos de ellos, elegidos entre Martes, Miércoles y Jueves. En suma, hay que medir dos días laborales de 7.00 a 23.00 horas, Sábado de 9.00 a 23.00 horas y un Domingo de 10.00 a 22.00 horas, en una semana normal. Como se ha dicho en el párrafo 2.1.3.2 estos horarios pueden ser modificados en ciertos casos. Los métodos de medición se tratan en la Sección 5.2.

**2.2.1.2 Medición de flujos.** En los días y horarios indicados se tomarán datos cada 15 minutos por categoría de vehículo de los siguientes movimientos según el ámbito del proyecto:

a) **Nudos.** Todos los movimientos existentes dentro del área de referencia. En las intersecciones de frontera (situadas en el límite del área) interesan sólo flujos en los accesos que aportan flujo hacia el nudo, o lo reciben de él, requiriéndose el flujo total del acceso y el que aporta.

**b) Ejes o redes.** Todos los movimientos en las intersecciones semaforizadas o rotondas dentro del área de referencia. Para las intersecciones de frontera vale lo anterior. Los requerimientos del estudio podrán incluir exigencias adicionales referidas a intersecciones de prioridad, playas o edificios de estacionamiento, etc. si se estima conveniente. En cualquier caso, es aceptable usar ecuaciones de continuidad con las prevenciones que se exponen en el acápite 5.2.2

**2.2.1.3 Medición de tasas de ocupación.** Aunque esta variable tiene escasa incidencia en los modelos de tráfico, su papel es decisivo en la evaluación. Se ha observado que su variación en el tiempo es pequeña salvo en vehículos de locomoción colectiva, en que es sustancial. En consecuencia, hay requisitos diferenciados según tipo de vehículo.

**a) Transporte público.** Incluye buses y taxis, en todas sus categorías. En general, debe medirse 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. Las tasas así obtenidas se aplicarán a todos los movimientos que conforman el acceso o eje correspondiente.

**b) Otros vehículos.** Para cada categoría considerada hay que tomar una muestra de 15 minutos en cada uno de los siguientes períodos- día laboral, horas punta de la mañana y de la tarde y una hora fuera de punta; sábado y domingo, una hora en la mañana y otra en la tarde. Estas muestras se tomarán para cada acceso o sentido de eje, análogamente al caso anterior. En el acápite 5.2.4 se entregan mayores especificaciones. Asimismo, los requerimientos de cada estudio podrán estipular más de un punto de medición en cada eje, sea por su longitud o por existir puntos singulares en él.

## 2.2.2 PROYECTOS CON REASIGNACION DE FLUJOS

**2.2.2.1 Especificaciones generales.** Como se estableció en el párrafo 2.1.3.2, para esta clase de proyectos debe simularse un mínimo de 3 horas de una semana tipo: puntas de mañana y tarde y una hora fuera de punta que pueda considerarse representativa de dicho período en un día laboral. Sobre la base de esas horas se deben estimar los beneficios en las 106 horas de la semana. Adicionalmente, es necesario recolectar información que permita calibrar el modelo de asignación para el área de referencia, el que luego debe ser utilizado para predecir flujos en arcos al interior de ella. Así, la información de flujos en la situación actual se necesita para los siguientes fines:

**a) Periodización.** Hay que realizar una elección de las horas a simular (excepto en el caso de proyectos estructurales en que éstas son definidas en el nivel estratégico) y asociar la semana tipo a ellas. Para esto se requieren datos sobre nivel y estructura globales de los flujos en el área de referencia.

**b) Generación de matrices origen-destino.** Para las horas seleccionadas es necesario realizar encuestas de cordón (y a veces de pantalla) y mediciones de flujos para los vehículos que no tienen ruta fija. El cordón deberá coincidir con el límite del área de referencia en tanto las líneas pantalla (si se necesitan) deberán ser definidas en cada caso en función de la importancia que se asigne a distintos flujos entre zonas interiores a dicha área. Además se debe hacer conteos de flujo en arcos interiores y recolectar información de flujos por recorrido en transporte público (buses y microbuses, taxibuses y taxis colectivos)

-

**c) Calibración del modelo de asignación.** Para que la calibración sea apropiada se debe recolectar flujos en un conjunto de arcos interiores, distintos de los utilizados en el proceso de generación de matrices origen-destino.

En cuanto a tasas de ocupación, las necesidades son más limitadas. Esencialmente se debe disponer de datos por eje, o grupos de ellos, por sentido del tráfico y por período para transporte público (incluidos los taxis) y de un valor promedio para el área, en cada período, para las demás categorías de vehículos.

**2.2.2.2 Mediciones de flujos para periodización.** En una entrada (y salida) representativa del área de referencia, para cada punto cardinal o definición equivalente, se deberá realizar conteos de flujo (clasificados por categoría de vehículo) en 2 días laborales entre Martes y Jueves, el Sábado y el Domingo, en los horarios pertinentes, de una semana normal. Para este fin se requiere conocer solamente el flujo directo de entrada y salida en las vías escogidas. En el párrafo 2.3.2.2 se indica cómo se debe efectuar la periodización. En situaciones extraordinarias (existencia de grandes diferencias entre la magnitud y estructura de los flujos a lo largo del año) puede presentarse más de una semana tipo, por lo que las mediciones mencionadas se deberán hacer en más de una semana en las horas señaladas.

**2.2.2.3 Encuestas y mediciones de flujos para generación de matrices origen- destino.** Se requiere generar matrices de viajes para la región definida por las zonas externas e internas del área de referencia (ver párrafo 2.1.4.4). Por constituir estas matrices una información fundamental en el tratamiento de proyectos con reasignación, todas las mediciones que se señalan a continuación deben hacerse para las horas definidas en la periodización (en el caso de proyectos no estructurales) o en las tres horas consideradas en el nivel estratégico (para los proyectos estructurales), en dos días laborales (entre Martes y Jueves) y promediarse.

**a) Encuesta de cordón.** En todas las entradas y salidas, hacia y desde el área de referencia, deberá encuestarse a una muestra algo superior al 10% de los vehículos sin ruta fija (clasificados por categoría) con el objeto de registrar el origen y el destino del viaje. En forma simultánea a la realización de - la encuesta, en los mismos puntos mencionados, se realizarán conteos de flujos directos para las categorías de vehículos consideradas anteriormente. Estos serán utilizados para estimar factores de expansión de la muestra y para fines de calibración.

**b) Encuesta en líneas pantalla.** La encuesta de cordón no permite registrar flujos entre zonas internas del área de referencia. Cuando el analista estime que estos flujos son importantes será necesario realizar una encuesta, similar a la anterior, en una línea que divida en dos el área de referencia, de manera que las extremidades de estos flujos queden a uno y otro lado de ella. En algunos casos particulares será necesario definir más de una línea pantalla. La encuesta deberá realizarse en todos los puntos de la (o las) línea(s) pantalla en que exista cruce de vehículos. Al igual que en el caso anterior deberá encuestarse a una muestra algo superior al 10% de los vehículos sin itinerario fijo (clasificados por categoría) cualquiera sea la dirección en que crucen la línea pantalla, y simultáneamente se efectuarán conteos.

**c) Conteos de flujos en arcos interiores.** En una de cada cuatro intersecciones del área de referencia, repartidas homogéneamente a través de ella, deberá contarse al menos un flujo de entrada, uno de salida y uno de giro, que el analista juzgue importantes. El número de arcos a considerar variará dependiendo de la complejidad (número de movimientos) de la intersección. Estos conteos deberán ser clasificados por categoría de vehículo y se considerará solamente los vehículos sin itinerario fijo. Se deberá intentar, en la medida de lo posible, que los flujos medidos sean linealmente independientes. Si el número total de zonas (externas e internas) es  $N$ , en ningún caso el número de conteos a utilizar para la estimación de una matriz origen-destino deberá sobrepasar de  $0,4(N - 1)^2$ .

**2.2.2.4 Mediciones de flujos para calibración.** Para las mismas categorías de vehículos consideradas en el párrafo anterior se requiere de conteos de flujo en un conjunto de arcos diferentes a los considerados en el inciso c) del párrafo 2.2.2.3. Se recomienda realizar estos conteos en un máximo de dos intersecciones, suficientemente distanciadas, de cada eje del área de referencia. Estos flujos deberán ser, en lo posible, linealmente independientes entre sí y linealmente independientes con los anteriores. En cuanto a los días de medición, estos flujos se tomarán también para las horas que se simulan durante dos días laborales entre Martes y Jueves y serán promediados.

**2.2.2.5 Medición de tasas de ocupación.** Esta información se puede recolectar simultáneamente con la realización de la encuesta de cordón en las horas correspondientes, durante los dos días de ejecución. Los requerimientos, según categoría de vehículo, se especifican a continuación:

a) **Transporte público.** Se seleccionará un mínimo de uno y un máximo de dos ejes en cada sentido, según las características del área de referencia. Para cada eje seleccionado se medirán tasas de ocupación por categoría de vehículo tal como se indica en el inciso a) del párrafo 2.2.1.3. Si debido a la longitud de un eje, o a sus características al interior del área de referencia, estas tasas pudieran variar en forma significativa a lo largo de él, el analista deberá considerar mediciones de tasas de ocupación en puntos intermedios. Las tasas de ocupación en los ejes no considerados en las mediciones serán asimiladas a las de alguno de los ejes seleccionados.

b) **Otros vehículos.** Para un flujo de entrada al área de referencia y uno de salida de ella, para cada punto cardinal o definición equivalente, se medirán tasas de ocupación por categoría de vehículo de acuerdo a lo establecido en el inciso b) del párrafo 2.2.1.3. Se deberá obtener tasas de ocupación promedio para toda el área, por categoría de vehículo y hora considerada.

**2.2.2.6 Medición de flujos por recorrido en transporte público.** El método de estimación de matrices que se describe luego en el párrafo 2.4.1.3 requiere de información de flujos (dentro del área de referencia y en sus arcos de entrada y salida) de vehículos con itinerario fijo. Para obtenerla se deberá, en primer lugar, identificar todos los recorridos de buses y microbuses, taxibuses y taxis colectivos pertinentes. Luego, conocidos estos recorridos, se deberá seleccionar un conjunto de arcos que asegure que cada recorrido pasará exactamente por dos de ellos. En todos los arcos del conjunto seleccionado se deberá medir flujos por hora, por recorrido, para las tres horas consideradas, durante dos días laborales entre Martes y Jueves. Las cuatro observaciones por recorrido así obtenidas (dos días en dos arcos del área de referencia) serán promediadas para obtener una estimación de la frecuencia por recorrido, para cada categoría de vehículo, para los períodos de punta

mañana, fuera de punta y punta tarde. Los flujos de vehículos con recorrido fijo en los arcos del área de referencia y sus arcos de entrada y salida, medidos en veq/hr, se obtienen asignando las frecuencias estimadas debidamente ponderadas por los factores de equivalencia de la Tabla 2.1.1 (1), a los arcos que corresponda.

## SECCION 2.3: PERIODIZACION

### 2.3.1 FUNDAMENTOS

**2.3.1.1 Necesidad de periodizar.** Para estimar los beneficios de un proyecto hay que predecir las condiciones operacionales en la red que representa el área de referencia, en cada semana tipo para cada alternativa. Estas condiciones varían dentro de una semana ya que lo hacen los flujos y, con frecuencia, las capacidades. Es incorrecto hacer la predicción con valores promedio de estas variables en la semana; las demoras, el consumo de combustible y otras fuentes de beneficios guardan una relación no lineal con el flujo y la capacidad. Por otra parte, no es practicable una estimación de beneficios para cada cuarto de hora por separado. Se hace necesario distinguir dentro de la semana periodos (de menor duración) diferentes entre si pero con razonable homogeneidad interna. La experiencia acumulada en estudios realizados en el país indica que no es apropiado establecer una cantidad fija de períodos para todo tipo de proyectos. En consecuencia, para determinar cuántos y cuáles períodos conviene usar para un cierto proyecto es preciso disponer de un método.

**2.3.1.2 Objetivo de la periodización.** Consiste en producir una partición de la(s) semana(s) tipo en periodos con las características descritas. Dependiendo de los umbrales de homogeneidad que se fijen resultarán más o menos periodos, lo que influye en los costos y duración de los estudios; por otro lado, hay que preguntarse cuál es el aporte marginal de una mayor diferenciación de periodos, desde el punto de vista de la toma de decisiones. La solución a este problema debe procurar un adecuado equilibrio: encontrar un número limitado de periodos que arroje una representación válida de las condiciones de circulación a lo largo de la semana.

**2.3.1.3 Condiciones de homogeneidad.** Se postula que es suficiente besar el análisis en un solo impacto de la circulación: las demores La homogeneidad en relación con ellas permite suponer que también la habrá en los otros impactos que están incorporados en la evaluación.

**a) La función de demora.** La demora media por vehículo para un movimiento es una función no lineal de la forma:

$$d_{ij} = d(q_{ij}, Q_{ij}, T_j) \quad (2.3.1 - 1)$$

donde:

- $d_{ij}$  = demora media para el movimiento i en el intervalo j;
- $q_{ij}, Q_{ij}$  = flujo y capacidad de movimiento i en el intervalo j;
- $T_j$  = duración del intervalo j.

Según sea el tipo de proyecto o de intersección estas variables pueden tener relaciones más complejas entre si, como se analiza mas abajo.

**b) Criterio de homogeneidad.** El requisito es que la demora total estimada con valores promedio de flujos y capacidades sobre un cierto conjunto de intervalos (que conforma un periodo) para cada movimiento, difiera poco de la que se obtendría estimándola separadamente para cada intervalo. Es decir, si  $\bar{q}_i$  y  $\bar{Q}_i$  denotan dichos promedios, debe cumplirse para un periodo con n intervalos de igual duración T:

$$\left| \sum_i d(\bar{q}_i, \bar{Q}_i, T) - \frac{1}{n} \sum_i \sum_j d(q_{ij}, Q_{ij}, T) \right| \leq \varepsilon \quad (2.3.1 - 2)$$

2)

donde  $\varepsilon$  es el error tolerado.

**c) Problema por resolver.** Se trata de encontrar métodos que, apoyándose en las propiedades de la función de demoras y en la menor cantidad de información posible, permitan asegurar que el criterio expuesto se satisface. Como estas propiedades varían con ciertas características de un proyecto hay que dar tratamientos diferenciados.

**2.3.1.4 Proyectos con reasignación de flujos.** En este caso, los flujos por movimiento dependen de las demoras a través de la elección de ruta. En consecuencia, demoras, flujos y capacidades por movimiento son un resultado simultáneo del proceso de asignación. Esto

añade enorme complejidad al problema. Teniendo en cuenta las restricciones usuales de recursos para un estudio de este tipo, se estima adecuado remitirse, para fines de simulación, a tres periodos que representen condiciones claves y diferentes de circulación.

Ellos son: hora punta de la mañana, hora punta de la tarde y una hora fuera de punta característica. En casos especiales podrá añadirse otros periodos (por ejemplo, hora punta del mediodía). Pero para fines de evaluación hay que considerar toda la semana. A estos efectos, hay que asociar las horas restantes (no simuladas) a uno de los períodos, basándose en similitudes del nivel y estructura globales de flujos en el área de referencia. Posteriormente, se puede estimar los beneficios en estas horas relacionándolos con los obtenidos para el periodo al cual están asociadas. En cuanto a periodización, se requiere entonces procedimientos para determinar cuáles son los períodos (salvo los proyectos estructurales, en que han sido previamente determinados) y para asociar a ellos las restantes horas de la semana.

**2.3.1.5 Proyectos sin reasignación de flujos.** En este caso los flujos que son un dato. La dificultad radica en  $Q_{ij}$ , que se desconoce. Pero hay diferencias sustanciales si se trata de una intersección semaforizada o de otro tipo. En las primeras, las capacidades de los diversos movimientos están en una dependencia implícita a través de la programación del semáforo; en las últimas, la capacidad de cada movimiento depende fundamentalmente de los flujos prioritarios correspondientes. Por otra parte, en intersecciones semaforizadas la demora tiene dos componentes: una uniforme, aproximadamente lineal con el grado de saturación, y una excedente, no lineal, asociada a perturbaciones aleatorias o a sobresaturación sistemática. En intersecciones no semaforizadas no existe la primera de esas componentes y, además, los movimientos prioritarios sólo pueden experimentar demoras independientes del flujo (geométricas). Es por ello que los procedimientos de periodización deben ser diferentes. Cuando el proyecto no se refiere a un nudo sino a un eje o red, basta que haya un cierto número de intersecciones semaforizadas, tal que condicionen de manera significativa la circulación, para que la periodización se haga a partir de esas intersecciones.

**2.3.1.6. Incidencia de las alternativas de diseño.** En cada proyecto pueden ser consideradas varias alternativas que importan cambios de la capacidad para, al menos, algunos movimientos. Entonces, la periodización podría ser distinta para cada alternativa. Incidencia de las alternativas de diseño. Pero esto exigirla cuantiosos esfuerzos por lo cual se recomienda emplear la que se obtiene para la situación actual. Con seguridad, ésta conducirá a buenas estimaciones de las demoras y otros impactos en situaciones que proveen mayor capacidad para los mismos flujos. Sólo en el caso que el proyecto se oriente a reducciones generalizadas de capacidad podrá adaptarse una periodización basada en una alternativa de diseño.

**2.3.1.7 Aplicación.** Los métodos que se presentan en los acápites 2.3.2 a 2.3.5 deben ser empleados, según corresponda, en todo proyecto cuyo estudio esté sujeto a las indicaciones de este Manual. A continuación se formulan algunas con respecto al uso de la periodización.

**a) Modificaciones a los periodos.** No es posible todavía garantiza que en proyectos sin reasignación el método establecido produzca automáticamente una cantidad de periodos acorde con las restricciones presupuestarias del estudio. Por ello, si una vez aplicado el método se encuentra que el número de periodos es excesivo, el supervisor del estudio podrá autorizar una agrupación ulterior de algunos de ellos. En este evento, deberá recurrirse a procedimientos ad-hoc consistentes con la base teórica del método y que en modo alguno signifiquen alterar la duración y composición de la semana tipo.

**b) Utilización en el proceso de evaluación.** Si bien los periodos se obtienen a partir de información sobre la situación actual, se aplican para todos los cortes temporales. Entonces, la estimación de flujos y tasas de ocupación, el diseño operacional y la simulación habrán de realizarse para cada periodo y corte temporal en cada alternativa que se evalúe.

**c) Utilización en la etapa de proyecto definitivo.** La alternativa seleccionada después de la evaluación es desarrollada posteriormente con vistas a la ejecución del

proyecto. Esto incluye el diseño operacional que será puesto en práctica. No es aconsejable que se realice para los mismos periodos usados en la evaluación. Los mejores criterios de agrupación no son idénticos para ambos fines y, de hecho, son más restrictivos para evaluación. Un mayor número de periodos en el diseño operacional puede redundar en un mejor funcionamiento del proyecto. Por cierto, los periodos básicos (previos a la agrupación) encontrados constituirán una referencia útil, así como las redes simuladas para el primer año de operación de la alternativa escogida.

## 2.3.2 METODO PARA PROYECTOS CON REASIGNACION

**2.3.2.1 Consideraciones generales.** El método tiene dos componentes: selección de los períodos a simular y asociación de la semana tipo a ellos. En proyectos estructurales, el primer aspecto es decidido en la etapa anterior de estudio. Ambos procedimientos se basan en el análisis del nivel y estructura globales del flujo en el área de referencia para lo cual usan las mediciones de flujos en ejes representativos que se especifican en el acápite 2.2.2. El método se describe para el caso normal de tener tres periodos; si hay más, el analista debe simplemente ajustar los procedimientos al número de periodos que se emplea.

**2.3.2.2 Selección de períodos para proyectos no estructurales.** Los periodos a considerar siempre son: hora punta de la mañana y de la tarde y una hora fuera de punta característica; eventualmente habrá periodos adicionales a éstos, cuya selección estará predefinida. La selección de los tres periodos generales se apoya en el nivel de flujos circulante en el área en un día laboral. Se toman los datos de flujo por eje en los 64 cuartos de hora medidos en día laboral, convertidos a veq/hora, y se suman para cada cuarto de hora los de entrada y de salida del área separadamente. Así se crean las variables:

$FE_j$  ( $FS_j$ ): Flujo total de entrada (salida) en el cuarto de hora  $j$  (veq/hr).

Se calcula:  $FT_j = FE_j + FS_j$  y se obtienen flujos totales horarios con la expresión siguiente:

$$FT_i = \frac{1}{4} \sum_{j=i-3}^i FT_j, \quad i = 4, 5, 6, \dots, 64 \quad (2.3.2 -1)$$

Las horas punta serán las de mayor  $FT_i$  en la mañana y tarde y estarán compuestas por el cuarto de hora  $i$  y los tres previos. Se elegirá como hora fuera de punta característica a una cuyo flujo total esté próximo al valor  $2/3$  ( $\max FT_i$ ) y que represente una estructura por acceso similar a la media del día.

**2.3.2.3 Asociación de la semana tipo.** Esta asociación está orientada a la estimación de beneficios y es forzoso asignar cada hora a uno de los periodos básicos. Hay que elegir de entre los periodos cuál es el que representa 'en mejor forma (salvo diferencias de escala) las condiciones de circulación previsible en cada hora no simulada de la semana.

A este efecto, los datos obtenidos para cada acceso serán agrupados por hora cronológica según día: laboral, sábado y domingo. Si los periodos básicos no corresponden a horas 'redondas' (7:45 a 8:45, por ejemplo) podrá definirse un lapso inferior o superior a 1 hora en su entorno (en el ejemplo, 7:00 a 7:45 y 8:45 - 10:00 podría ser una solución) cuidando que haya satisfactoria homogeneidad interna en él. Determinadas así las horas a asignar se procede como sigue:

- para cada periodo a asignar se construyen las variables  $FE_{kj}$  ( $FS_{kj}$ ) que son los flujos promedio de entrada (salida) en el eje  $k$  en el periodo  $j$ , en  $veq/hr$ ;
- para los tres periodos básicos se comparan los flujos totales de entrada y salida respectivos y se elige el mayor de ambos, que se denomina FRM, FRT o FRF, según se trate de las puntas de mañana o tarde o la hora fuera de punta, respectivamente;
- para cada periodo a asociar, se construyen los índices:

$$IM_{kj} = FR_{kj} / FRM_k \quad k = 1, \dots, n \quad (2.3.2 - 2)$$

$$IT_{kj} = FR_{kj} / FRT_k \quad k = 1, \dots, n \quad (2.3.2 - 3)$$

donde  $FR_{kj}$  es  $FE_{kj}$  o  $FS_{kj}$ , según corresponda;

- el periodo se asociará a la punta mañana o punta tarde si  $IM_{kj} > 0,9$  o  $IT_{kj} > 0,9$  para al menos  $n - 1$  ejes. Si no se cumple ninguna de estas condiciones, se asociará al período fuera de punta. Si se cumplen ambas, se asociará al período cuyos índices sean mayores. Finalizado este proceso hay que hacer una revisión criteriosa de la asignación efectuada ya que esta se basa sólo en información de flujos. Factores de comportamiento que inciden sobre la capacidad o la velocidad pueden implicar

mayores grados de similitud entre periodos que los que sugieren los flujos, especialmente cuando se contemplan reasignaciones. Determinada la asociación definitiva, se especificará para cada hora de la semana tipo a cuál periodo básico queda asociada y un índice IR dado por:

$$IR_j = \frac{\sum_{k=1}^n FR_{kj}}{F} \quad (2.3.2 \text{ --})$$

4)

donde:  $F = \sum_k FRM_k \text{ ó } \sum_k FRT_k \text{ ó } \sum_k FRF_k$ , según corresponda.

### **2.3.3 METODOS PARA PROYECTOS SIN REASIGNACION**

**2.3.3.1 Consideraciones generales.** En este tipo de proyectos, por conocerse los flujos por movimiento, la periodización se orienta a definir una partición completa de una semana tipo en periodos de duración variable. Por las razones expuestas en el párrafo 2.3.1.5 hay que distinguir entre proyectos sin y con intersecciones semaforizadas.

**2.3.3.2 Proyectos sin intersecciones semaforizadas.** En este caso la demora para cada movimiento puede obtenerse independientemente. No obstante, la capacidad de un movimiento puede experimentar fuertes variaciones en el corto plazo, en función de los flujos de los movimientos que son prioritarios para él. Cuando estas variaciones están acompañadas por la presencia de colas de importante longitud o permanencia, es esencial estimar las demoras con perfiles de flujos y capacidad cada 15 minutos. Los programas computacionales recomendados para el tratamiento de este tipo de intersecciones proceden de esta manera. Por lo tanto, se sugiere identificar en la etapa de medición los periodos en que hubo cola por más de 45 minutos consecutivos en al menos un acceso. Estos periodos deberán ser simulados por separado, desagregados en subperiodos de 15 minutos. El resto de la semana tipo puede considerarse como un solo periodo, para el cual se promedian los flujos de cada movimiento, ponderando por 5 los intervalos pertinentes que corresponden a día laboral.

**2.3.3.3. Proyectos con intersecciones semaforizadas.** Aquí, la capacidad de todos los movimientos está interrelacionada a través de la programación del semáforo, la cual depende de los flujos. No es posible hacer una estimación de demoras para cada movimiento por separado. Por las características de los programas computacionales recomendados para simular este tipo de proyectos, hay que suponer que la programación del semáforo se mantiene a lo largo de cada periodo identificado. Entonces, el problema consiste en encontrar periodos que cumplan dos condiciones:

- que todos los movimientos tengan condiciones operacionales razonables con un programa fijo durante el periodo;

- que se produzca una buena estimación de demoras con valores medios de los flujos en el período.

Ambas puede satisfacerse si hay homogeneidad interna en cada periodo. Si el semáforo opera con el mismo programa durante todo el período, se puede suponer que la capacidad no varía dentro de éste. Entonces, la función de demora puede reescribirse:

$$d_{ij} = d(x_{ij}, Q_i, T_j) \quad (2.3.3 -$$

1)

donde  $x_{ij}$  es el grado de saturación del movimiento  $i$  en el intervalo  $j$ , que sólo varia con el flujo al interior de un periodo. Se ha encontrado (Gibson, 1981; Hadjes, 1989) que esa función puede linealizarse por tramos sólo relacionados con el grado de saturación;  $Q_i$  y  $T_i$  no alteran perceptiblemente la forma de la función. También, que si el grado de saturación de un movimiento en diversos intervalos pertenece a un mismo tramo, se puede emplear un programa fijo del semáforo para esos intervalos. En suma, la pertenencia de  $x_{ij}$  a tramos determinados es garantía de que se cumplen las dos condiciones. Es necesario:

- calcular los  $x_{ij}$ , para todo par  $i, j$ ;
- que para cada movimiento  $i$ , su grado de saturación en todos los intervalos que pueden conformar un periodo esté dentro de un cierto tramo.

Hay un procedimiento para aplicar esta idea a partir de datos muy básicos, fáciles de obtener en una etapa temprana de desarrollo del estudio. El procedimiento tiene dos módulos: uno para periodizar una intersección semaforizada y otro para ejes o redes, en que hay que compatibilizar varias intersecciones. Una descripción detallada puede encontrarse en Hadjes (1989). En los acápites siguientes se ofrece una explicación de los pasos más importantes.

## 2.3.4 PROCEDIMIENTO PARA UN NUDO SEMAFORIZADO

**2.3.4.1 Condiciones para la formación de un período.** Según lo expuesto en el acápite precedente la linealización por tramos de la curva de demora y la admisibilidad de un programa fijo del semáforo durante el periodo conducen a la definición de ciertos intervalos para el grado de saturación de cada movimiento. Estos figuran en la Tabla 2.3.4 (I).

**TABLA 2.3.4 (1)**  
**TRAMOS HOMOGENEOS DEL GRADO DE SATURACION**

Tramo	Valor de x
1	$x \leq 0,70$
2	$0,70 < x \leq 0,80$
3	$0,80 < x \leq 0,88$
4	$0,88 < x \leq 0,93$
5	$x > 0,93$

Para que un conjunto de intervalos pueda agruparse en un periodo P debe, en principio, cumplirse:

$$x_{ij} \in T_i \quad y \quad Q_{ij} = Q_i \quad \forall j \in P, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.3.4 -$$

1)

donde T denota uno de los tramos señalados que puede variar entre movimientos.

Suponiendo que:

- el flujo de saturación básico de cada movimiento no varía en la semana;
- el diseño de fases y entreverdes en el semáforo permanece constante;
- el tiempo de ciclo se fija en el óptimo con la expresión de Webster y Cobbe (1966) y el reparto se fija por equisaturación de los movimientos críticos,

la condición (2.3.4-1) se transforma en:

$$X_j \in T \quad \text{y} \quad x_{ij} \in T_i, \quad \forall j \in P, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.3.4 - 2)$$

Con

$$X_j = \frac{2}{1 + \left( \sum_{i \in C_p} \frac{q_{ij}}{s_i} \right)^{-1}} \quad (2.3.4 - 3)$$

donde  $X_j$  es el grado de saturación de la intersección en el intervalo  $j$ ,  $C_p$  es la ruta crítica en la programación del semáforo, que se supone no cambia durante el periodo, y  $s_i$  es el flujo de saturación del movimiento  $i$ . Por los supuestos hechos:

$$X_j = x_{ij} \quad \forall i \in C_p$$

Entonces, para los movimientos críticos hay una exigencia mayor. que sus grados de saturación pertenezcan todos al mismo tramo. Sólo para los movimientos no críticos el tramo puede ser diferente entre movimientos.

**2.3.4.2 Determinación de grados de saturación.** Para aplicar la condición (2.3.4-2) es necesario calcular los  $x_{ij}$ . Los supuestos adoptados sobre las propiedades de la programación permiten hacerlo a partir de datos sencillos. Aunque la programación del semáforo, y por ende las capacidades, varia entre periodos es factible que ella quede implícita. Las fórmulas para el cálculo de  $x_{ij}$  dependen de si el diseño de fases contiene o no movimientos traslapados. Antes de presentarlas se explica cómo determinar la ruta crítica.

**a) Determinación de la ruta crítica.** Para fines de periodizar, es razonable suponer que no hay restricción de verdes mínimos y que el grado de saturación práctico es 1. Entonces, la ruta crítica será aquella de mayor factor de carga (qls). Si hay movimientos traslapados ella puede o no incluirlos. Se recomienda besar el procedimiento en el diseño de fases existente, salvo que tenga deficiencias que conduzcan a modificarlo sustancialmente en la situación base. Si es así, esta será la referencia.

**b) Sin movimientos traslapados.** Conocida la ruta crítica, los grados de saturación se determinan mediante:

$$x_{ij} = \frac{q_{ij} s_{ic}}{\bar{q}_{ic} s_i} \frac{\sum_{j \in P} X_j}{m} \quad (2.3.4 - 4 a)$$

$$\bar{q}_{ic} = \frac{\sum_{j \in P} q_{icj}}{m} \quad 2.3.4 - 4b)$$

donde

$\bar{q}_{ic}(s_{ic}) =$  flujo medio (flujo de saturación) del movimiento crítico simultáneo con el i (si éste es crítico,  $i_c = i$ );  
 $m =$  número de intervalos que conforman el periodo.

**c) Con movimientos traslapados.** Las ecuaciones (2.3.4-4a y b) son aplicables a todos los movimientos críticos y aquellos no críticos que están asociados biunívocamente (derecho a vía en la(s) misma(s) fase(s)) a uno crítico. Cuando no hay esta asociación biunívoca, surgen dos casos especiales: movimiento no crítico que está en un subconjunto de fases de uno traslapado que es crítico, y movimiento traslapado no crítico que está autorizado en un conjunto de fases que tienen sus propios movimientos críticos. Las fórmulas a aplicar, en el orden respectivo, son:

$$x_{ij} = \frac{\frac{q_{ij} s_{ti}}{s_i} \frac{\sum_{k=1}^k \bar{q}_k}{\bar{q}_{ti}}}{\left( \frac{1}{\bar{X}_{ti}} - \frac{s_{ti}}{\bar{q}_{ti}} \alpha_{ti} \right) \frac{\bar{q}_{ic}}{s_{ic}}} \quad (2.3.4 - 4e)$$

$$x_{ij} = \frac{\frac{q_{ij}}{s}}{\sum_{k=1}^k \frac{\bar{q}_k}{\bar{X}_k s_k} + \alpha_k} \quad (2.3.4 - 4d)$$

Donde:

- k = identifica al movimiento critico de cada una de las fases en el subciclo de K fases definido por el movimiento trasladado;
- t<sub>i</sub> = identifica al movimiento trasladado critico del cual es subconjunto el movimiento i;
- $\bar{q}, \bar{X}$  = flujo y grado de saturación promedio en el periodo de un movimiento determinado, que se calculan con expresiones análogas a la (2.3.4-4b).

Nótese que en (2.3.4-4c) i<sub>c</sub> denota al movimiento k simultáneo con el movimiento i. El parámetro  $\alpha$  tiene un valor que depende de  $\bar{X}_{ii}$  o  $\bar{X}_k$  según el caso, de la forma:

$$\alpha_z = \frac{K}{\beta_z M} \quad (2.3.4 - 4 e)$$

donde M es el número total de fases en el cielo de la intersección y  $\beta_z$  es un factor cuyo valor cambia de acuerdo con el tramo de la Tabla 2.3.4(1) a que pertenece  $\bar{X}_{ii}$  o  $\bar{X}_k$  y se presenta en la Tabla 2.3.4(II).

**TABLA 2.3.4(11)**  
**VALORES DE  $\beta_z$**

Tramo	$\beta_z$
1	3,6
2	5
3	8
4	12
5	12

**2.3.4.3 Información requerida.** Cualquiera sea el caso, para el cálculo de xii y Xi  $S_i > 10$  es necesario conocer el diseño de fases, los flujos y los flujos de saturación por movimiento. Es decir, información sumamente básica. No obstante, si no hay datos contables sobre los flujos de saturación se puede recurrir a una aproximación sencilla. Sea

Ni el número de pistas asignadas al movimiento  $i$  y  $s_{bi}$  el flujo de saturación de una pista de ese tipo; entonces:

$$s_i = N_i s_{bi} \quad (2.3.4 - S a)$$

Existe otra posibilidad aun, si hay dudas sobre el valor de  $s_b$  si consta que un movimiento estuvo saturado durante todo un cierto intervalo  $\delta$  al medir los flujos. Si  $q_{i\delta}$  y  $u_{i\delta}$  son el flujo y la razón de verde efectivo observadas para el movimiento en ese intervalo,

$$s_i = \frac{q_{i\delta}}{u_{i\delta}} \quad (2.3.4 - 5b)$$

Cualquiera sea la manera, o combinación de ellas, de determinar los flujos de saturación éstos y los flujos deben usarse en [ADE/hr] en todos los cálculos relativos a periodización.

**2.3.4.4 Esquema del procedimiento.** En esencia, se trata de identificar conjuntos de intervalos  $j$  tales que cada uno satisfaga la condición (2.3.4-2) y definan una partición completa de la semana tipo. No es posible asegurar que exista solución y, de haberla, que sea única. Para lograr una periodización apropiada se requiere agregar algunos criterios prácticos y un algoritmo bien estructurado. Este algoritmo procede a generar primero períodos conformados por intervalos consecutivos dentro de un mismo día de la semana tipo. Se impone que un periodo de éstos (básico) debe estar constituido como mínimo por cuatro intervalos. En la etapa siguiente se busca agrupar periodos básicos, no consecutivos entre si. Este proceso se realiza primero dentro de cada día y luego entre días de la semana tipo. Entonces, dados una definición de movimientos, la matriz fase-movimientos, el flujo y flujo de saturación de cada movimiento, los pasos son:

1. Seleccionar intervalos o periodos que se pueden agrupar.
2. Determinar la ruta critica.
3. Calcular los  $x_{ij}$ , con las ecs. (2.3.4-4).
4. Verificar las condiciones de agrupación (2.3.4-2).
5. Volver al paso 1.

Para que el procedimiento sea más eficiente, el primer paso se basa en la condición para  $X_{.j}$ . Este se calcula para cada intervalo o periodo, según la etapa, y se busca agrupar aquellos en que  $X_{.j}$  pertenece al mismo tramo.

**2.3.4.5. Consideraciones prácticas.** Las condiciones definidas para la formación de períodos corresponden a exigencias muy rigurosas en cuanto a precisión en la estimación de demoras y a adecuación del programa fijo durante el periodo. Aplicarlas estrictamente a todos los movimientos tenderá normalmente a producir un alto número de periodos. Se ha encontrado que introducir cierta tolerancia reduce sensiblemente ese número sin apenas variar la estimación de beneficios. Esto se traduce en los siguientes procedimientos.

**a) Redefinición de tramos.** Para la verificación de xii, en cualquier etapa, los cinco tramos definidos se condensan en tres a través de la fusión de los tramos 2 y 3, y del 4 y el 5. Sin embargo, para  $X_i$  se mantienen los cinco tramos. Esto, en general, introduce mayor flexibilidad para los movimientos no críticos, cuyas demoras son normalmente de menor importancia.

**b) Formación de un período resto.** En la primera etapa del proceso, todo intervalo cuyo  $X_j$  pertenece al primer tramo ( $\leq 0, 7$ ) es incorporado a un periodo llamado "resto", sin verificar condición alguna sobre  $x_{ij}$ . La única excepción es que ese intervalo sea necesario para satisfacer el mínimo de cuatro intervalos consecutivos que debe tener un período.

**c) Suavización de los flujos.** Una vez terminada la primera etapa, de formación de periodos básicos, los flujos  $q_{ij}$  se suavizan con un proceso de medias móviles de tres intervalos, o sea:

$$q_{ij} = \frac{\sum_{j-1}^{j+1} a_{ij}}{3} \quad (2.3.4 - 6)$$

Lógicamente, el primer y último intervalo de cada día de la semana sólo serán suavizados con dos valores. Esta suavización permite evitar que al tratar de agrupar periodos básicos,

donde se maneja una cantidad elevada de intervalos, pocos valores anómalos (por errores de medición o perturbaciones aleatorias), impidan la agrupación.

**d) Tolerancia en la aplicación de las condiciones de agrupación.** En la etapa de formación de periodos básicos se considera cumplida la pertenencia al tramo correspondiente si el valor de  $X_j$  se aparta de los límites de él en no más de 1% o del valor de  $x_{ij}$  en no más de 2%. En las etapas siguientes de agrupación de periodos básicos, además de trabajar con los flujos suavizados y los tramos condensados para los grados de saturación por Movimiento, se introduce una modificación en la forma de aplicar las condiciones (2.3.4-2). Por una parte, la condición para el grado de saturación de la intersección opera sobre el grado de saturación promedio de cada uno de los periodos que se intenta agrupar y no sobre el de cada uno de los intervalos que los componen. Esta variable,  $X_p$  se calcula con:

$$X_p = \frac{\sum_{j \in P} X_j}{m} \quad (2.3.4 - 7)$$

Por otra parte, los grados de saturación por movimiento continúan tratándose para cada intervalo pero se admite agrupar los periodos aunque no se satisfaga estrictamente la condición. La tolerancia recomendada es aceptar que algunos  $x_{ij}$  pertenezcan a tramos contiguos siempre que ello ocurra a lo más para un tercio de los movimientos y en ellos, hasta en un cuarto de los intervalos.

**2.3.4.6 Resultado del procedimiento.** Una vez aplicado el algoritmo en todas sus etapas se tendrá un número generalmente reducido de periodos. Para cada uno se indicarán su composición en días y horas (v.g. DL 12:00 -13:15; SA 12:30 - 14:00; DO 13:00 - 14:30)2 el grado de saturación medio de la intersección y de cada movimiento. Con esta información puede realizarse la eventual agrupación ulterior referida en el inciso 2.3.1.7a).

**2.3.4.7 Procesamiento de los flujos.** Tomada una decisión sobre el número y composición de los periodos, la semana tipo se descompone en ellos. La información de flujos relevante para diseño operacional y simulación será la referente a los periodos, no ya a cuartos de

hora. Los datos para cada movimiento, medidos según día y cuarto de hora, se transforman con:

$$q_{ip} = \frac{5 \sum_{j \in L_p} q_{ij} + \sum_{j \in NL_p} q_{ij}}{5HL_p + HNL_p} \quad (2.3.4 - 8)$$

donde:

$L_p(NL_p)$ : conjunto de cuartos de hora en día laboral (no laboral) que pertenecen al periodo p;

$HL_p(HNL_p)$ : número de cuartos de hora en día laboral (no laboral) que posee el periodo p.

La ecuación (2.3.4-8) se aplica separadamente para cada categoría de vehículo, expresándose los flujos en veh/hr. Análogamente, las tasas de ocupación deben agregarse por período y categoría de vehículo para cada movimiento o eje medido, con un procedimiento similar.

## **2.3.5 PROCEDIMIENTO PARA REDES SEMAFORIZADAS**

**2.3.5.1 Esquema general.** Cuando el área de proyecto es un eje o una red puede haber intersecciones cuyos patrones de variación del nivel o estructura de los flujos sean relevantes y no necesariamente coincidentes. Como se mencionó en el párrafo 2.3.3.3, en este caso es preciso extender el procedimiento detallado en el acápite precedente. El primer paso es determinar cuántas y cuáles intersecciones deben ser tenidas en cuenta. Luego se forman periodos básicos para cada día, primero por intersección y después combinando intersecciones. Finalmente procede la agrupación de periodos disjuntos, dentro de un mismo día o entre días diferentes, para las intersecciones en conjunto.

**2.3.5.2 Selección de intersecciones.** Sólo se tendrá en consideración intersecciones semaforizadas y que vayan a ser modificadas en su geometría por el proyecto. Si a pesar de tratarse de un eje o de una pequeña red hay nada más que una intersección en estas condiciones, o bien hay más de una pero son muy próximas y homogéneas, la periodización se hará con una intersección. En caso contrario hay que elegir intersecciones que:

- presenten altos grados de saturación;
- estén relativamente distantes entre si o soporten estructuras de flujo claramente diferenciadas,

En ningún caso conviene que estas intersecciones sean más de tres. Un número mayor hace más engorroso el procedimiento y aporta poca información adicional.

**2.3.5.3 Formación de períodos básicos.** En cada intersección, separadamente, se forman periodos con intervalos consecutivos en cada día de la semana tipo, siguiendo el método expuesto en el acápite 2.3.4. Hecho esto, se calcula  $X_{pz}$ , el grado de saturación de la intersección  $z$  en el periodo  $p$ .

**a) Búsqueda de periodos comunes.** El objetivo es determinar regiones temporales que poseen homogeneidad interna entre intersecciones. Se consigue a través de superponer, en cada día, los periodos de las diversas intersecciones. Sucederá que, por ejemplo, en una

de ellas hay un periodo de 7:30 a 8:30 y en otra de 7:45 a 8:45. Esto conduce a definir un periodo de 7:45 a 8:30 y quedan cuartos de hora sobrantes en cada intersección.

**b) Asociación de cuartos de hora sobrantes.** En el ejemplo, se tiene un periodo de 7:45 a 8:30. Supóngase que hay otro de 8:45 a 10:00. Queda remanente el cuarto de hora de 8:30 a 8:45, y la decisión a adoptar es a cuál de los dos asociarlo. Para ello, se compara el grado de saturación total de el o los cuartos de hora en cuestión con el de ambos periodos en cada intersección. Si en alguna hay diferencia de dos o más tramos ( de los especificados en la Tabla 2.3.4(l) con uno de los periodos, se hará con el otro en todas las intersecciones. Si en todas las intersecciones no hay más de un nivel de diferencia, se hará la asociación con el periodo que presente más homogeneidad en más intersecciones. Un ejemplo del último caso es el siguiente:

Intersección A: 13:00 - 14:00, 14:00 - 15:30

Intersección B: 13:00 - 14:15, 14:15 - 15:30

Intersección C: 12:45 - 14:15, 14:15 - 15:30

Por lo visto en el inciso a), se forman los periodos 13.00 a 14:00 y 14:15 a 15:30. Queda por asignar de 14:00 a 14.15. Como en las intersecciones B y C este intervalo es homogéneo con el de 13:00 a 14.00, se asocia a éste. En la práctica surgen situaciones más complicadas pero pueden resolverse con los criterios indicados.

**2.3.5.4 Agrupación de períodos no adyacentes en el tiempo.** El paso anterior produce una división en periodos contiguos de cada uno de los tres días de la semana tipo. Se trata ahora de agruparlos, primero dentro de cada ida y luego entre días. Ambas operaciones se llevan a cabo de forma análoga a la descrita en los párrafos 2.3.4.4 y 2.3.4.5, aplicando los requisitos para todas y cada una de las intersecciones simultáneamente. Así son obtenidos periodos eventualmente conformados por horas distintas de un mismo día y de diversos días de la semana. Este resultado debe ser sometido a la revisión sugerida en el inciso 2.3.1.7a), si el número de periodos es alto. Determinada la periodización definitiva para el eje o red, todos los datos de flujo y tasa de ocupación deben ser reprocesados de acuerdo con ella, mediante el procedimiento del párrafo 2.3.4.7.



## SECCIÓN 2.4: ESTIMACION DE FLUJOS PARA CORTES TEMPORALES

### 2.4.1 GENERACION DE MATRICES ORIGEN-DESTINO ACTUALES

**2.4.1.1 Generalidades.** Una matriz O-D sintetiza la distribución de los vehículos usuarios del área de referencia. Por lo tanto, su utilidad va más allá de alimentar los modelos de asignación, si los hay. Constituye un marco apropiado para formalizar el diagnóstico de la situación actual y los impactos directos atribuibles a las diversas alternativas de diseño que se generen. Incluso, en proyectos sin reasignaciones previstas, alguna de ellas puede implicar reruteos que son fácilmente manejados a partir de una matriz O-D, no siempre así de flujos por movimiento. Además, la estimación de flujos para los cortes temporales, esté basada en factores de crecimiento o en modelos de equilibrio previamente estimados, es mejor realizada mediante estas matrices. Los procedimientos estipulados en las Secciones precedentes conducen a obtener flujos por movimiento y período en proyectos sin reasignación y matrices O-D parciales (en que falta completar flujos internos al área de referencia) en proyectos con reasignación. En consecuencia, cualquiera sea el caso, hay una etapa por efectuar para obtener la información deseada.

**2.4.1.2 Proyectos sin reasignación de flujos.** No habiendo en este caso una Bonificación propiamente tal y constituyendo el área de referencia, en general, el entorno inmediato del lugar sujeto a proyecto, los orígenes y destinos corresponderán a accesos. Se construirá una matriz por categoría de vehículo y periodo.

**a) Nudos.** La transformación de flujos por movimiento a matriz por acceso al nudo es frecuentemente sencilla. Deriva de si el movimiento es directo o corresponde a un cierto giro. En intersecciones complejas (rotondas, por ejemplo) se requiere datos adicionales. Estos provendrán de encuestas por acceso de entrada y salida con el método de las patentes o alguno de similar contabilidad. La encuesta cubrirá un 20% de los vehículos en una hora cualquiera de cada uno de los periodos definidos para el proyecto, en cada movimiento cuyo acceso de destino, para un origen determinado, no sea evidente. No es necesario hacer

encuestas para los vehículos de transporte público si hay datos suficientes de recorridos y frecuencias.

**b) Ejes.** Se producirán matrices O-D para cada intersección situada en el eje en que se hayan realizado mediciones de flujo, según las pautas establecidas en el inciso anterior. Además, con el fin de conocer en qué medida el eje es utilizado por tráfico de largo recorrido, en una hora de cada uno de los dos periodos punta se harán encuestas de patentes en los extremos del eje, por sentido de circulación. Estas encuestas sólo considerarán automóviles particulares y buses (sin distinción interna).

**c) Redes.** En este caso, que sólo puede darse para una clase particular de proyectos de gestión, carece de sentido práctico generar matrices, por lo cual la información de flujos quedará a nivel de movimiento.

Las tasas de ocupación no se transforman en términos O-D. Continúan ligadas a acceso o sentido del eje, según fueron medidas.

**2.4.1.3 Proyectos con reasignación de flujos.** La encuesta de cordón y las encuestas en líneas pantalla, descritas en el párrafo 2.2.2.3, no garantizan una buena estimación de la matriz origen-destino de flujos de vehículos sin itinerario fijo, en la región definida por las zonas del área de referencia y las zonas externas a ella. Esto se debe principalmente a que, no todos los flujos origen-destino entre zonas internas podrán ser detectados. Por este motivo, y dada la importancia de contar con una buena estimación de esta matriz, se recomienda estimarla a partir de la obtenida de las encuestas anteriores (matriz a priori) y de conteos de flujo de vehículos sin itinerario fijo (expresados en  $\text{veq/hr}$ ) obtenidos en arcos interiores y de entrada y salida del área de referencia. De esta forma, la matriz a priori representará una adecuada estimación de la estructura de la matriz buscada y los conteos aportarán importante información adicional para mejorar la matriz que se desea generar. El procedimiento que se esboza a continuación deberá ser utilizado para estimar una matriz como la descrita, para cada una de las horas de simulación del proyecto, a) Modelo a utilizar. Aprovechando que para simular la situación actual se utilizará SATURN

(Van Vliet, 1982), el método de estimación de matrices se deberá basar en el uso de su módulo SATME2, que a partir de una matriz a priori y de un conjunto de conteos de flujos en arcos, que constituyen restricciones del problema, estima la matriz de máxima entropía. Deberá usarse la opción que realiza asignación de equilibrio.

**a) Red a considerar.** La red a considerar es aquella que sirve la región formada por las zonas internas del área de referencia y las externas a ella. El nivel de detalle de esta red deberá ser coherente con el nivel de detalle de la zonificación, al que se hizo mención en el párrafo 2.1.4.4. En particular interesa que en intersecciones de importancia estén representados por arcos todos sus movimientos,

**b) Información de entrada al modelo.** La información de entrada a SATME2 es la siguiente:

- Red vial. Básicamente, la red queda definida por un listado de arcos a los que se asocia un conjunto de atributos que se refieren a tiempos de viaje, demoras y capacidades en los arcos de la red detallada y a los parámetros de las curvas velocidad-flujo de los arcos codificados en forma agregada (sean éstos de la red externa o interna).
- Conteos en arcos. Se debe entregar, para cada arco de la red, los flujos de vehículos de transporte público con itinerario fijo. Además, para un conjunto de arcos se debe entregar flujos de vehículos sin itinerario fijo. En ambos casos los flujos estarán medidos en veh/hr.
- Matriz a priori. Esta matriz debe obtenerse del procesamiento de las encuestas de cordón y encuestas en líneas pantalla, descritas en el párrafo 2.2.2.3. Sólo se consideran en ella flujos origen-destino de vehículos sin itinerario fijo. Aunque estos flujos han sido medidos en veh/hr por categoría, la matriz a priori debe estar expresada en veh/hr.
- Matriz generada. La matriz generada con el procedimiento descrito (matriz base en cada una de las horas consideradas) es la matriz de máxima entropía, que una vez asignada a la red permite reproducir los conteos en arcos mencionados, y que se supondrá la mejor estimación de la matriz verdadera para la situación actual.

Además, de esta matriz generada para flujos de vehículos sin itinerario fijo, es necesario información de flujos por recorrido. Esto, para las tres horas de simulación consideradas. En general, son vehículos de itinerario fijo los buses y microbuses, los taxibuses y los taxis colectivos. Sin embargo, en casos especiales, puede ser conveniente considerar también a otras categorías como de itinerario fijo (camiones y taxis vacíos por ejemplo).

## **2.4.2 CRITERIOS GENERALES PARA LA ESTIMACION**

**2.4.2.1 Objetivo y alcances.** Como se mencionó en el párrafo 2.1.2.1 las condiciones de operación de un proyecto de vialidad urbana no varían, en general, linealmente en el tiempo. Debido a esto, la evaluación de tales proyectos requiere simular su comportamiento en determinados años de su vida útil (cortes temporales). Esta simulación se apoya en estimaciones de flujos en los arcos de la red modelada y de tasas de ocupación de las distintas categorías de vehículos que circulan por ella, para todos los periodos que hayan sido definidos. La estimación de flujos de vehículos sin itinerario fijo para los años futuros se basará, en general, en expansiones de las matrices actuales y, en particular en el caso de los proyectos estructurales, en un procedimiento que considera dichas matrices más las estimaciones de demanda obtenidas en el estudio de nivel estratégico. La estimación de flujos de vehículos con itinerario fijo y de tasas de ocupación se realizará a partir de proyecciones de la situación actual, para todos los proyectos no estructurales. En el caso de los proyectos estructurales, en cambio, se hará uso de información extraída del estudio de nivel estratégico.

**2.4.2.2 Situación base y alternativas.** La estimación de los beneficios de un proyecto requiere comparar el comportamiento del sistema en estudio para una situación base, que no considera la implementación de una alternativa de proyecto determinada, y otra que sí la considera. En principio entonces se trata de proveer, para cada corte temporal y para cada periodo de simulación, la información necesaria para simular esas dos situaciones. En el caso de aquellos proyectos que no producen variaciones de la demanda (generación de viajes, distribución y partición modal) ni reasignaciones significativas de flujos en la red, la información sobre estructura y magnitudes de los flujos que se requiere para simular ambas situaciones es la misma. En el caso de los proyectos no estructurales con reasignación, las matrices origen-destino coincidirán en ambas situaciones, no así los flujos sobre los arcos y las tasas de ocupación. Finalmente, cuando se trata del análisis de un proyecto estructural, debería obtenerse matrices origen-destino diferentes para las situaciones base y alternativa, las que obviamente se traducirían en flujos en arcos y tasas de ocupación distintos. Sin embargo, la metodología de evaluación de proyectos estructurales se basa en la

comparación de alternativas y luego un análisis de consistencia de estos resultados y los de la evaluación estratégica. Dado que se supone además que las matrices de distribución no varían entre alternativas, en este caso también se deberá obtener solamente matrices origen-destino para la situación alternativa.

**2.4.2.3 Aspectos generales del procedimiento de estimación.** Con la sola excepción de los proyectos de gestión de redes, en los que los flujos a nivel de movimientos y tasas de ocupación serán expandidos por tasas de crecimiento dadas (ver párrafo 2.4.1.2 inciso e), el método de estimación de flujos futuros de vehículos sin itinerario fijo, pasa por la obtención de matrices origen-destino similares a las descritas en el acápite 2.4.1.

**a) Proyectos no estructurales.** En el caso de los proyectos no estructurales (excluidos los de gestión de redes) los flujos origen-destino de vehículos sin itinerario fijo serán obtenidos mediante el uso de modelos de distribución del tipo factores de crecimiento. Dependiendo de la disponibilidad de información, éstos podrán ir desde modelos muy simples, como los de factor uniforme, hasta modelos tales como el propuesto por Fratar (1954). Las estimaciones de matrices origen-destino de vehículos con itinerario fijo se basarán en un análisis conjunto del crecimiento de las tasas de ocupación y de los flujos vehiculares.

**b) Proyectos estructurales.** Los flujos origen-destino de vehículos sin itinerario fijo se estimarán usando, básicamente, el mismo procedimiento empleado para estimar las matrices actuales de los proyectos con reasignación. Sólo cambia en este caso, el origen de alguna información de entrada a SATME2- La matriz a priori tendrá elementos que provienen de la condensación de la matriz estimada en el nivel estratégico y elementos de la matriz actual correspondiente cuando no es posible condensar la información del nivel estratégico al táctico. Los conteos en arcos provendrán, a su vez, de la asignación estratégica, usando para tal fin aquellos arcos de la red estratégica que estén presentes en la red del área de referencia y sus accesos. Las matrices de vehículos con itinerario fijo y las tasas de ocupación provendrán de un análisis de la asignación estratégica. El procedimiento esbozado se aplicará a las situaciones base y alternativas.



### 2.4.3 PROCEDIMIENTOS DE ESTIMACION

2.4.3.1 Proyectos de gestión de redes, sin reasignación. Este es el único tipo de proyectos para el que tanto la estimación de flujos como de tasas de ocupación para cortes temporales, se basa en la proyección de información obtenida para la situación actual. Estas estimaciones deben obtenerse para el tercer año después de la situación actual, en cada uno de los periodos de simulación seleccionados.

**a) Estimación de flujos.** Para todos los movimientos señalados en el inciso b) del párrafo 2.2.1.2 deberá estimarse flujos por categoría de vehículo, los que serán expresados en veh/hr, a partir de los valores medidos para la situación actual. Esta labor no es simple y en rigor está muy relacionada con la estimación de tasas de ocupación vehicular. Mientras no se disponga de modelos adecuados de estimación de dichas tasas, sólo cabe en esta metodología hacer recomendaciones consistentes en la aplicación de métodos sencillos. Respecto a la estimación de tasas de crecimiento de flujos de vehículos sin itinerario fijo, se recomienda obtenerlas a partir, por ejemplo, de una serie histórica de conteos de flujo. Estos conteos, idealmente deberían corresponder al área de referencia. Sin embargo, de no existir, podría utilizarse información disponible para un área de similares características. En general, bastará con disponer de una tasa anual de crecimiento de flujos para toda el área. En el caso de los vehículos de transporte público con itinerario fijo, en especial si las tasas de ocupación en la situación actual son anormalmente bajas, parece razonable estimar tasas de crecimiento de flujos de pasajeros (aplicando por ejemplo tasas de crecimiento de la población) y solamente considerar crecimiento en los flujos vehiculares a partir del año en que las tasas de ocupación alcancen un nivel máximo preestablecido (por ejemplo 75%). Desde ese año en adelante se puede suponer constancia en las tasas de ocupación promedio y un aumento de los flujos vehiculares de acuerdo a las, tasas de crecimiento de los viajeros, anteriormente calculadas.

**b) Estimación de tasas de ocupación.** Como se dijo en el inciso anterior, el ideal sería realizar un estudio con el fin de calibrar modelos de estimación de tasas de ocupación futuras, para cada categoría de vehículo. De esta forma, el analista sólo debería preocuparse

de obtener los valores de las variables explicativas de dichos modelos para el año de estimación. Por el momento, para estimar tasas de crecimiento de las tasas de ocupación de vehículos sin itinerario fijo se recomienda usar un método basado en el análisis de información histórica. Para los vehículos de transporte público con itinerario fijo se recomienda utilizar el método descrito en el inciso anterior.

**2.4.3.2 Otros proyectos no estructurales.** El procedimiento de estimación de flujos para cortes temporales para este tipo de proyectos es similar al señalado en el párrafo 2.4.3.1, con la excepción de la estimación de flujos de vehículos sin itinerario fijo. Estos, a nivel de arcos de la red, se obtienen a partir de una matriz origen-destino de flujos vehiculares. Los flujos de vehículos de transporte público con itinerario fijo y las tasas de ocupación por categoría de vehículo, se deben estimar usando el procedimiento descrito para los proyectos de gestión de redes sin reasignación.

**a) Estimación de matrices origen-destino de flujos sin itinerario fijo, para cortes temporales.** En este caso se deberá usar un modelo de distribución de factores de crecimiento para estimar las matrices de las situaciones base y alternativa. Esto, para cada periodo de simulación, en cada uno de los cortes temporales. El tipo de modelo de factores de crecimiento a utilizar variará para cada estudio en particular, dependiendo de la información disponible. Si ésta es precaria, y sólo se puede contar con datos globales para la región en que se inserta el proyecto, se deberá estimar un factor de crecimiento uniforme. Si por el contrario existe mejor información (por contarse pro ejemplo con estimaciones zonales para variables demográficas y socioeconómicas e incluso con modelos de generación y atracción de viajes provenientes de algún estudio anterior) deberá estimarse factores de crecimiento de generaciones y atracciones de viajes por zona o grupos de zonas. En este caso se recomienda utilizar el modelo de distribución de Fratar, que forma parte de los modelos auxiliares con que cuenta el paquete SATURN.

**b) Estimación de flujos de vehículos con itinerario fijo.** En este caso se deberá utilizar el mismo procedimiento descrito para los proyectos de gestión de redes sin reasignación.

c) **Tasas de ocupación.** Se deberá usar el mismo procedimiento descrito en el inciso b) del párrafo 2.4.3.1.

**2.4.3.3 Proyectos estructurales.** Estos proyectos han pasado por una evaluación estratégica por lo que se dispone de información sobre demanda, flujos y tasas de ocupación para los tres periodos definidos para esa evaluación en cada uno de los cortes temporales, que normalmente son tres. El problema en este caso consiste en cómo transformar la información referida a la región considerada en el estudio estratégico (normalmente toda una ciudad) a la forma condensada requerida para el análisis táctico de alternativas de proyecto. Esta forma condensada, como se ha descrito en el párrafo 2.1.4.3, consta de un área de referencia en cuyo interior tanto la zonificación como la codificación de la red es bastante detallada y de un conjunto de zonas externas, conectadas a ella a través de todos sus ejes de entrada y salida.

a) **Estimación de matrices origen-destino. de flujos de vehículos sin itinerario fijo.** El procedimiento a utilizar en este caso es básicamente el mismo que se ha descrito en el párrafo 2.4.1.3 para generar una matriz origen-destino para la situación actual. Las diferencias radican en la procedencia de la información de entrada. La matriz a priori contiene elementos estimados a partir de la matriz de flujos vehiculares estimada para un corte temporal y un periodo dado en el nivel estratégico, y de elementos de la matriz de la situación actual, en los casos en que éstos no puedan ser obtenidos en igual forma que los anteriores. Los conteos de vehículos de itinerario fijo, expresados en veq/hr, provienen de la asignación del nivel estratégico. Estos corresponderán a los arcos de entrada y salida y a algunos arcos del área de referencia que hayan sido codificados en la red estratégica. De la misma asignación provienen los flujos de vehículos de itinerario fijo sobre los arcos de la red condensada. Estos se pueden obtener, para cada categoría de vehículo, del análisis estratégico y sumarse para cada arco, previa ponderación por las tasas de equivalencia adecuadas para obtener flujos en veqlhr. El procedimiento de obtención de flujos origen-destino (de vehículos sin itinerario fijo), a partir de la matriz de la región servida por la red estratégica, se basa principalmente en el uso de los parámetros  $p_9$ . (probabilidad que un

vehículo que viaja entre el par de zonas (i,j) utilice el arco a) si entregados por el modelo SATURN (éstos se deben obtener de la asignación del nivel estratégico). Las etapas principales del método propuesto para construir esta matriz a priori se indican a continuación:

Para cada arco a de entrada o salida de la red condensada del análisis táctico, que haya formado parte de la red estratégica, identificar todos los pares origen-destino (de la zonificación del nivel estratégico) cuyos viajeros lo utilizan y registrar el valor  $p^a$  correspondiente.

- Para cada par posible de arco de entrada a y arco de salida b, identificar todos los pares de zonas (i,j) cuyos viajeros usan simultáneamente esos arcos (sea  $C_{ab}$  dicho conjunto de pares de zonas) y registrar los productos  $p_{ij}^a \cdot p_{ij}^b$  correspondientes a cada par (i,j).
- Sea  $V_{ij}$  el número de vehículos entre el par de zonas (i,j) de la zonificación del nivel estratégico. Sea, además, A la zona externa de la red condensada unida al área de referencia por el arco de entrada a y B la zona externa de la red condensada unida al área de referencia por el arco de salida b. Entonces, se puede estimar el flujo entre las zonas A y B de la red condensada ( $V_{ab}$ ) en función de los flujos en la red estratégica de acuerdo a la siguiente expresión:

$$v_{ab} = \sum_{(i,j) \in C_{ab}} V_{ij} p_{ij}^a p_{ij}^b \quad (2.4.3 - 1)$$

- Para todos aquellos elementos de la matriz condensada que no se obtenga información con el procedimiento descrito se deberá usar el valor de la matriz de la situación actual.

La matriz obtenida con el procedimiento anterior constituye una matriz a priori que aprovecha la información del nivel estratégico concerniente a la estructura de los flujos en un corte temporal. A partir de ella, más la información de conteos de flujos en arcos (también proveniente del nivel estratégico) se estima la matriz para dicho corte. Para cada período de simulación, para cada uno de los cortes temporales, para las situaciones base y

alternativa, deberá estimarse una matriz de flujos de vehículos sin itinerario fijo, usando el método antes descrito.

**b) Estimación de flujos con itinerario fijo.** Estos se obtienen directamente de las redes codificadas para cada categoría de vehículo en el nivel estratégico. Es posible que por tener distinto nivel de codificación sea necesario efectuar pequeñas adaptaciones para llevar estos flujos de la red estratégica a la táctica. En este caso podría presentarse la situación en que distintas alternativas de un proyecto requieren diferentes modificaciones a los itinerarios de vehículos de transporte público. El analista deberá tomar debida cuenta de ello.

**e) Tasas de ocupación.** Estas se deben obtener directamente de los resultados del nivel estratégico. En el caso de los vehículos sin itinerario fijo se obtienen valores de flujos vehiculares totales y de viajes totales (de personas). A partir de estos datos puede estimarse una tasa de ocupación promedio. En el caso de los vehículos de transporte público con itinerario fijo, para cada eje del área de referencia (que haya sido codificado en la red estratégica) se conoce el flujo vehicular y el número de viajeros, para cada categoría de vehículo. A partir de esto se puede obtener estimaciones de tasas de ocupación promedio en pax/veh.

## **CAPITULO 3: DIAGNOSTICO**

### **SECCION 3.1: SIMULACION DE LA SITUACION ACTUAL EN PROYECTOS SIN REASIGNACION DE FLUJOS**

#### **3.1.1 AMBITO DE LA SIMULACION**

**3.1.1.1 Objetivos.** La exigencia de simular la situación actual tiene un doble propósito. En primer lugar, validar los criterios de modelación y parámetros empleados para representar la circulación en la zona del estudio. Esto es importante porque la evaluación descansa en la simulación de situaciones inexistentes (base o alternativas de diseño) y por tanto no verificables. Pero como su modelación se realiza a partir de la situación actual, calibrar ésta es una oportunidad insustituible de contraste con la realidad. En segundo lugar, se pretende apoyar la generación y selección de alternativas a evaluar. Si bien no es difícil detectar la existencia de problemas e imaginar soluciones, si lo es frecuentemente determinar su magnitud y las relaciones causa-efecto que surgen. El uso de simulación es una valiosa ayuda en este sentido.

**3.1.1.2 Periodos de simulación.** Para los fines mencionados basta simular los periodos en que la mayoría de los conflictos alcanza su máxima expresión, es decir, las horas punta. Se recomienda simular las de la mañana y de la tarde de un día laboral. Debe verificarse que los periodos respectivos que hayan resultado de aplicar los métodos de la Sección 2.3, contengan las etapas de crecimiento y disolución de las colas significativas. Si éstas permanecen largo tiempo, sólo se requiere llegar hasta el momento en que se estabilizan. Si hay discrepancia entre este criterio y los periodos antes definidos habrá que ajustar la duración de éstos sólo para efectos de simular la situación actual.

**3.1.1.3 Elementos a simular.** Si bien la evaluación de un proyecto se lleva a cabo incorporando sus impactos en el área de referencia, la generación y selección de alternativas de diseño tiene que ver principalmente con los conflictos que se producen en determinados lugares, cuya existencia ha motivado la realización del estudio. En esta fase

del proceso debe prestarse particular atención a esos lugares; con posterioridad, la visión de red contribuirá a mejorar los diseños preliminares. Es también importante para delimitar los elementos a simular tener en cuenta la factibilidad de practicar una calibración de rigor y costo apropiados. Esto conduce a las siguientes recomendaciones por tipo de proyecto.

**a) Nudos.** Se simula la intersección correspondiente, como si fuera aislada.

**b) Ensanches o ejes.** Se simula el tramo a ensanchar o el eje, con sus intersecciones incluidas. Si alguna(s) de éstas presentan problemas serios de congestión en horas punta hay que simularlas además, como intersecciones aisladas. Eso sí, estas intersecciones deben constituir cuellos de botella, es decir, que la congestión en ellas no sea producto de bloqueos aguas abajo.

**c) Redes.** Este caso (redes sin reasignación) sólo se da para ciertos proyectos de gestión orientados a mejoras generalizadas. Por lo tanto, basta simular la red; no es necesario analizar elementos especiales por separado.

**3.1.1.4 Programas computacionales.** Para elegir qué programas emplear en esta actividad, los criterios básicos son:

- capacidad de modelar correctamente los fenómenos relevantes en el tipo de proyecto de que se trata;
- relación explícita entre características de diseño y modelación del tráfico;
- modelación de corrientes vehiculares heterogéneas e interactuantes;
- que el programa entregue variables operacionales susceptibles de medición con el propósito de calibrar.

Atendiendo a estos criterios y a la natural exigencia de compatibilidad en la teoría que subyace a los diferentes programas, se recomienda el uso de los siguientes:

**a) Intersecciones.** Si son semaforizadas, SIDRA (Akcelik, 1986, 1987) en versión 3.1 o posterior. Puede ser útil modelar además con SIGCAP (Allsop, 1975) para fines de diseño, por su análisis post-optimal. Si se trata de intersecciones de prioridad o rotondas, PICADY y ARCADY (Department of Transport, 1985), respectivamente, en versión 2 o posterior.

**b) Ejes o redes.** Cualquiera sea el caso, el programa a utilizar es TRANSYT (Vincent, Mitchell y Robertson, 1980) en versión 8 o posterior, con el modelo de dispersión corregido (Aldea y Diaz, 1987; Gibson y Wityk, 1988). Si existen problemas relevantes originados por bloqueos que afectan a dos o más intersecciones contiguas, puede recurrirse a TRAFFICQ (Logie y Dawson, 1981) para obtener valores realistas de flujos de saturación a usar en TRANSYT.

### 3.1.2 MODELACION

**3.1.2.1 Generalidades.** Con frecuencia, un cierto fenómeno admite representaciones diversas entre las cuales no es fácil discriminar por anticipado en cuanto a su precisión. La calibración de una situación actual modelada es una instancia de especial valía en esta tarea. En ella se pone a prueba el modo de representación del fenómeno y los valores de los parámetros que comporta. Es conveniente retener el carácter de hipótesis sometida a experimento que tiene la modelación, del que se desprende que no es una actividad puramente formal, sujeta a reglas completamente enumeradas y conocidas. Al enmarcarse ella en determinados programas computacionales, la teoría que los fundamenta y las restricciones técnicas que les son inherentes condicionan el sentido y el alcance de los modos de representación. Esto hace aconsejable ofrecer algunas recomendaciones específicas para la modelación, aunque se supone que el lector conoce las peculiaridades de cada programa. Estas se detallan en los manuales de uso respectivos.

**3.1.2.2 Información primaria.** Se establece a continuación un conjunto de datos mínimo para alimentar la modelación, agregándose algunos que aunque no son empleados directamente son necesarios junto a ella en las actividades inmediatamente posteriores. En esencia, esta información apunta a la identificación y cuantificación de los conflictos presentes, a través de sus participantes o de sus consecuencias.

**a) Datos generales.** En el área o elementos a modelar se requiere conocer:

- características geométricas. longitud de tramos, anchos de pista, pendientes por acceso (si son significativas), radios de giro;
- flujos y tasas de ocupación en cada hora punta. Los modelos de intersección aislada usan los flujos en veh/hr y TRANSYT en veq/hr;
- .formas de uso: movimientos autorizados y qué pistas usan (por acceso y categoría de vehículo); localización de paradas de transporte público, estacionamiento o carga y descarga (estén o no autorizadas estas operaciones); lugares de cruce peatonal; tipo de control de la intersección y, si es el caso, programación del semáforo (fases,

entreverdes, ciclo, repartos, desfases); existencia y origen de problemas de bloqueo o subutilización sistemática de ciertas pistas. Si estas características varían en el tiempo, sólo interesan a efectos de calibración las referentes a las horas punta;

- accidentes, sin y con lesionados, ocurridos en los dos últimos años, como mínimo; porcentaje de buses que para y tiempo de parada en cada paradero importante, si se modelará con TRANSYT.

Los datos de carácter espacial deben sintetizarse en diagrama que muestren el conjunto del área a modelar. Por otra parte, la información debe ordenarse por movimientos agrupando éstos por acceso o tramo de vía. Tal ordenación facilita la modelación y el diagnóstico.

**b) Capacidad y velocidades.** Estas variables, esenciales en la modelación, ofrecen dificultades nada despreciables para ser estimadas o masivamente medidas con alta confiabilidad. Considerando que en todas las redes que se utilizarán en el proceso de evaluación ambas variables serán casi siempre estimadas (por corresponder a situaciones inexistentes) hay que conceder prioridad a la calibración del método de estimación antes que a la de valores de estas variables en lugares específicos. Se recomienda entonces modelar con valores estimados de acuerdo con los métodos de la Sección 5.3, y a la luz de la calibración determinar las mediciones que serán necesarias para ajustar el procedimiento de estimación a las características de; proyecto en estudio.

**e) Variables de calibración.** Ellas son longitudes de cola y tiempos medios de viaje en determinados tramos. Los requerimientos en cada caso se especifican en el acápite 3.1.3 pero es indispensable que estas mediciones se hagan simultáneamente con las de flujos.

La medición u observación de todas las variables mencionadas debe llevarse a cabo siguiendo lo estipulado en la sección 5.2. No obstante, se recomienda con especial énfasis recurrir a la video grabación, sobre todo en los accesos más congestionados de las intersecciones consideradas, como elemento de apoyo para la modelación y calibración de la situación actual.

**3.1.2.3 Confección de los modelos.** El Capítulo 8 está destinado al tratamiento de esta materia y su contenido es, por cierto, aplicable en esta fase. Sólo se hace hincapié aquí en algunos aspectos que pueden propiciar una calibración más pronta y sistemática.

**a) Aspectos generales.** Cualquiera sea el programa de que se trate, es conveniente: modelar los buses como movimiento o arco diferenciado del resto del tráfico, aunque compartan pistas; usar los valores por defecto para ponderadores de detenciones y demoras y factores de consumo de combustible pues ellos no influyen en la calibración.

**b) Modelos de intersección aislada.** En todos los casos hay que aprovechar al máximo la inclusión explícita de datos geométricos, que influirán en las estimaciones de capacidad. Además, según sea el caso:

- en PICADY y ARCADY, usar perfiles de flujo cada 15 minutos;
- en SIDRA, usar la opción que estima la componente excedente de colas y demoras con igual fórmula que TRANSYT y permitir que el programa calcule los flujos de saturación pero especificando el flujo de saturación básico.

**c) TRANSYT.** Cuando se emplea este programa y también otros de intersección aislada hay que hacer uso de las capacidades que estos calculan para líneas de detención homogéneas de TRANSYT. Dos advertencias son procedentes:

- los modelos de intersección aislada no ocupan un equivalente directo de la línea de detención. Juega en ellos un papel decisivo la pista de circulación que sólo tiene modelación explícita en TRANSYT cuando es de uso exclusivo de algún movimiento. Esta diferencia debe ser manejada procurando asignar en TRANSYT capacidades que repliquen los grados de saturación obtenidos para cada movimiento en los otros modelos;
- donde haya virajes con oposición en intersecciones semaforizadas, prestar especial atención a los periodos de bloqueo que predice SIDRA, así como a las salidas en la entreverde.

Por otra parte, en los arcos de la red en que haya paraderos de importancia, hay que modelar arcos de buses que paran y no paran separadamente.

### 3.1.3 CALIBRACION

**3.1.3.1 Variables.** La calibración consiste en comparar valores observados con otros estimados por los modelos, de ciertas variables que se describen a continuación.

**a) Longitud de cola.** En intersecciones no semaforizadas corresponde al número de vehículos en cola en un cierto instante. Ya que los datos de flujo se toman cada 15 minutos, debe medirse con igual resolución temporal. En intersecciones semaforizadas se definen dos longitudes. Cola excedente y máxima extensión de la cola. La primera representa el número medio (durante la hora simulada) de vehículos que quedan en cola al iniciarse el rojo efectivo. La segunda incluye los vehículos en cola al iniciarse el verde efectivo y los que se incorporan a ella durante este periodo. Ambas variables deben medirse en cada ciclo de la hora y promediarse. Las tres maneras de definir la longitud de cola se refieren a cada pista de circulación y se miden en vehículos, especificando su composición.

**b) Tiempo medio de viaje.** Es el tiempo empleado en recorrer una cierta ruta al interior de la red, definida por líneas de detención inicial y final. Debe obtenerse como promedio de no menos de 12 observaciones, distribuidas homogéneamente dentro de la hora correspondiente, si se trata de vehículos livianos, y de 30 observaciones si se trata de transporte público. A menos que los requerimientos específicos del estudio dispongan otra cosa, solo serán considerados automóviles particulares y buses.

**3.1.3.2 Calibración de nudos.** En este tipo de elemento sólo se calibra con longitudes de cola en los dos accesos más saturados en cada hora punta. No es necesario, pero si conveniente, que se disponga de mediciones en otros accesos. Para cada variable habrá dos valores observados, uno por cada día de medición, que se promediarán. Esta cifra se comparará con el valor respectivo predicho por el modelo. No hay todavía experiencia suficiente para establecer límites rígidos de tolerancia y debe tenerse en cuenta que se trata de variables con alta dispersión para las cuales la muestra es pequeña. En este contexto, se formulan algunas sugerencias para guiar el proceso.

**a) Intersecciones no semaforizadas.** Es esencial, en primer lugar, que la evolución temporal de la cola predicha siga la misma tendencia que la observada. Cabe esperar sin embargo, que haya diferencias apreciables (incluso del orden de un 20%) entre valores puntuales sin que ello implique que la modelación es errónea. Es indicio preocupante que esas diferencias muestren un comportamiento sesgado entre accesos o pistas de un mismo acceso, o bien entre periodos.

**b) Intersecciones semaforizadas.** No hay posibilidad de contrastar la evolución temporal al interior de cada hora. Por ello conviene utilizar dos indicadores de calibración. El primero, directo, es la máxima extensión de la cola en cada pista; SIDRA entrega una predicción para esta variable. Por otra parte, la cola excedente medida sirve para obtener una estimación del grado de saturación, mediante:

$$x = 2N_0(1 + 2N_0 / QT) / (1 + 2N_0) \quad (3.1.3 - 1)$$

donde  $x$  es el grado de saturación,  $N_0$  es la cola excedente observada,  $Q$  es la capacidad de la pista calculada por SIDRA (veh/hr) y  $T$  es la duración del periodo simulado (hrs). EL  $x$  así obtenido se puede comparar con el valor que entrega SIDRA. Este indicador es más importante que el primero porque es menos afectado por desviaciones del patrón de llegadas con respecto a la aleatoriedad que se supone. La comparación de grados de saturación debe tener en consideración la existencia de un uso compartido de algunas pistas. En este caso, SIDRA predice igual  $x$  para todas ellas pero eso no tiene por qué suceder con la ecuación (3.1.3-1). Por un lado, interesa que el promedio del estimador entre pistas compartidas, con la debida ponderación, no tenga diferencias superiores a un 5% con el valor predicho. Por otro, estimadores claramente distintos entre pistas compartidas sugieren la presencia de algún fenómeno de subutilización no modelado. La máxima extensión de la cola sirve para corroborar o poner en duda las conclusiones que arroja la comparación de grados de saturación.

**3.1.3.3 Calibración de ejes o redes.** En ciertos tipos de proyectos se debe simular también (o solamente) un eje o una red con TRANSYT, según lo establecido en el párrafo 3.1.1.3. Este programa entrega una predicción de las dos variables de longitud de cola en cada

intersección y estima tiempos de viaje totales en cada arco de la red. Pudiéndose pues hacer una calibración extensiva, los costos de medición de las variables deben mantenerse bajo control, y hay que recordar que éstas tienen una contabilidad restringida. Entonces, el alcance de la calibración debe acomodarse a las características del tipo de proyecto.

**a) Ensanches.** En estos proyectos es de primera importancia la velocidad de recorrido pues se supone que el nuevo diseño la modificará sensiblemente. Como se modela separadamente las intersecciones críticas, la calibración de nodos puede limitarse a ellas, de acuerdo con los criterios del párrafo anterior. Los tiempos de viaje en este caso no incluirán demoras en intersecciones y deben medirse de manera de poder calibrar una relación velocidad-flujo del tipo:

$$v = \alpha - \beta / (w - a) - \gamma q (w - a) \quad (3.1.3 - 2)$$

donde  $(w - a)$  es el ancho efectivo,  $q$  es el flujo en la calzada y  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  son parámetros. El método para este proceso se describe en la Sección 5.3.

**b) Proyectos de gestión.** A la calibración de nodos individualmente modelados, si los hay, ha de agregarse la de tiempos de viaje. Si se trata de ejes, hay que contemplar al menos dos tramos (que incluyan intersecciones) por sentido de tránsito. Si se trata de redes, como mínimo seis rutas interiores homogéneamente distribuidas. Adicionalmente, como en redes no hay modelación de nodos individuales, debe medirse la longitud de cola en el acceso más saturado de cada una de las seis rutas. El análisis de estos datos es similar al ya planteado, salvo que no es necesario aplicar la ecuación (3.1.3- 1); la cola excedente se compara directamente con la componente de demora aleatoria y por sobresaturación que entrega TRANSYT. Obsérvese que el dato está por pista y la estimación por arco; hay que encontrar combinaciones de arcos que se correspondan con pistas y hacer la comparación con los valores debidamente agregados y convertidos a vehículos.

**3.1.3.4 Desarrollo del proceso.** Las comparaciones recomendadas conducen a una gran cantidad de cifras individuales que cabe esperar presenten un comportamiento variado. No

es el propósito de la calibración realizar ajustes en determinadas variables localmente hasta que todas esas cifras se consideren satisfactorias. El proceso debe ser más estructurado. Una mala calibración puede provenir de dos factores: representación errónea de algunos fenómenos o valores inadecuados de algunos parámetros. El primero es de carácter localizado, en cambio el segundo dice relación con un procedimiento más general dada la forma sugerida para especificar capacidades y velocidades. Luego, conviene empezar por corregir los errores de modelación, sin alterar parámetros. Agotado ese proceso, hay que buscar una sistematización de los problemas remanentes en orden a identificar insuficiencias en el método de estimación de capacidades empleado. Estas pueden remitir a flujos de saturación básicos, pérdidas en la partida o ganancia de amarillo, factores de equivalencia, etc. Hecha esta identificación, se realizará un plan de mediciones que permita disponer de valores adecuados para el estudio, que serán los que se apliquen en las estimaciones requeridas posteriormente para la situación base y las alternativas de diseño. Las exigencias cuantitativas para dar por conseguida la calibración serán definidas por el supervisor del estudio; en todo caso, deberán ser mayores para proyectos de gestión que de infraestructura.

## **SECCION 3.2: SIMULACION DE LA SITUACION ACTUAL EN PROYECTOS CON REASIGNACION DE FLUJOS**

### **3.2.1 AMBITO DE LA SIMULACION**

**3.2.1.1 Objetivos.** Como se mencionó en el párrafo 3.1.1.1, la evaluación de alternativas de proyecto está basada en la simulación de situaciones inexistentes. En el caso de los proyectos no estructurales se compara la(s) alternativa(s) con una situación base que incorpora modificaciones a la situación actual. En el caso de los proyectos estructurales la metodología propuesta al respecto en este Manual considera la comparación entre alternativas. El primer objetivo de la simulación de la situación actual resulta evidente a partir de lo expresado anteriormente. Calibrar la situación actual da la oportunidad al analista de contrastar los resultados que se obtengan con la realidad. En el caso de los proyectos con reasignación, se trata de calibrar las redes de la situación actual para los tres periodos de simulación seleccionados, mediante la utilización de SATURN. Esta calibración servirá para dar al analista la debida confianza en los criterios de modelación utilizados y en los parámetros que reflejan el comportamiento de las situaciones estudiadas. La credibilidad de los resultados de la evaluación se basa fundamentalmente en suponer que una vez hecho esto, la aplicación sistemática de los mismos criterios de modelación a situaciones hipotéticas y la utilización de los mismos métodos para determinar los parámetros representativos de su comportamiento, permitirán predecir con los modelos la operación de las situaciones base y alternativas. Si bien esta validación de las herramientas de modelación constituye la finalidad básica de esta etapa, el apoyo al diagnóstico (comprensión de los problemas existentes) y al proceso de generación y selección de alternativas es también un objetivo importante.

**3.2.1.2 Períodos de simulación.** Contar con redes calibradas de la situación actual es un requisito fundamental para llevar a cabo en buena forma el proceso de análisis y evaluación posterior. Por tal motivo, deberá simularse cada uno de los periodos seleccionados para el estudio de estos proyectos.

**3.2.1.3 Área a simular.** La reasignación de flujos que se produce al implementar este tipo de proyectos no permite determinar a priori la localización de los principales impactos que se producirán. Por esto, se necesita simular el comportamiento de la red definida para el área de referencia. Esta incluye la red detallada que se codifica a su interior y la red agregada que conecta dicha área de referencia con el resto de la región en la que se encuentra inserta.

**3.2.1.4 Programas computacionales.** Los criterios básicos que guían la selección de los programas a utilizar son los mismos que se detallan en el párrafo 3.1.1.4 a los que se debe agregar, en este caso, la capacidad de asignar flujos origen-destino de vehículos sin itinerario fijo. Dadas estas necesidades de considerar por un lado, una parte de la red (al interior del área de referencia) en forma muy detallada y por otro asignar los viajes de vehículos sin itinerario fijo, se recomienda el uso del programa SATURN (Van Vliet, 1982) en versión 8 o posterior. Este programa, además de haber sido disecado especialmente para análisis del tipo requerido en esta actividad, presenta la ventaja de contar con un modelo de estimación de matrices de viaje, que es otra tarea importante en la metodología propuesta en este Manual para el tratamiento de proyectos con reasignación de flujos. Existen varios motivos para recomendar que conjuntamente con SATURN se utilice el programa TRANSYT en su versión 8 o posterior. En primer lugar, éste da al analista mayores posibilidades de modelar en forma diferenciada vehículos de diferentes categorías (automóviles y buses especialmente). En segundo término, dado que será TRANSYT el programa a utilizar en la evaluación, es conveniente que queden calibradas las diferentes representaciones de vehículos de distintas categorías. El paso de un programa a otro requiere de un proceso de transformación en la modelación que debe quedar calibrado. En el acápite 3.2.3 se presenta, en forma somera, el papel de cada uno de estos programas en el proceso de calibración de las redes.

### 3.2.2 MODELACION

**3.2.2.1 Generalidades.** El modelo de una situación dada en proyectos con reasignación es siempre una red. Esta no está definida sólo por su topología, sino por un conjunto de parámetros y funciones representativas del comportamiento de tráfico de los usuarios que la utilizan. Como se mencionó en el párrafo 3.1.2.1 no existe una forma única de representar una determinada situación. Por más que se trate de sistematizar el proceso de modelación mediante una serie de normas y recomendaciones, siempre será posible concebir distintas tipologías de red para una misma realidad. A su vez, estas distintas tipologías se traducirán, en ciertos casos, en diferentes funciones y parámetros representativos del comportamiento de los usuarios del sistema. La calibración de una situación actual modelada en términos de lo mencionado anteriormente comporta, entonces, dos etapas que no conviene mezclar. En primer lugar, es la topología de la red la que se pone a prueba. Se trata aquí de aspectos tales como formas de zonificación al interior y al exterior del límite del área de referencia, formas de conectar centroides de zonas y nodos de la red, formas de representar determinados fenómenos en una intersección, etc. Un segundo aspecto de la calibración que debe ser abordado después del anterior es el que se relaciona con los distintos valores que puede darse a los parámetros de comportamiento del sistema (incluidos los parámetros de ciertas funciones de comportamiento. En los párrafos siguientes del presente acápite se hará referencia, solamente, a aspectos importantes que sean adicionales a aquellos pertinentes aquí y que fueron tratados en el acápite 3.1.2.

**3.2.2.2. Zonificación y arcos conectores.** Un aspecto de importancia en la modelación de situaciones en que existe reasignación de viajes es la zonificación de la región servida por la red a analizar. Como se ha dicho, se debe diferenciar entre la zonificación dentro y fuera del área de referencia.

**a) Zonificación dentro del área de referencia.** El detalle con que se debe codificar la red del área de referencia lleva normalmente a una zonificación bastante desagregada. Debe ponerse especial atención a ciertos núcleos importantes respecto a generación y atracción de viajes. Un centro comercial, un edificio de estacionamiento o una importante

estación de Metro pueden generar (o atraer) en una hora una cantidad significativamente mayor de vehículos que muchas otras zonas más grandes. Si dichos núcleos no se consideran como una zona individual, con acceso a los puntos adecuados de la red, el problema de calibración de los flujos en arcos cercanos a ellos puede tornarse insoluble.

**b) Zonificación fuera del área de referencia.** El ideal en este caso es considerar que todos los arcos de entrada y salida del área de referencia pueden quedar unidos biunivocamente a una zona externa, que representa un área extensa de la región en la que el sistema estudiado está inserto. Desgraciadamente esto no es siempre posible. En el caso de los proyectos estructurales, distintas alternativas pueden producir reasignaciones no sólo en el interior del área de referencia sino también en su exterior, cambiando los puntos de entrada y/o salida para determinados flujos. Para considerar estos casos será necesario, muchas veces, conectar dos o más ejes de entrada (o salida) con una misma zona externa.

**3.2.2.3 Capacidades y velocidades.** Es aplicable en este caso todo lo dicho en el inciso b) del párrafo 3.1.2.2. Debe agregarse solamente que los arcos de la región que no se modela detalladamente en SATURN (sea dentro o fuera del área de referencia), no necesariamente tienen asociados un valor constante para la velocidad, sino una función velocidad-flujo. No se espera en este caso calibrar tales funciones a partir de mediciones realizadas en la situación actual. Se recomienda asignar a cada arco alguna función de las empleadas en estudios estratégicos anteriores. Si el proyecto estudiado es del tipo no estructural con reasignación, los arcos correspondientes serán asimilados a alguna de las categorías de arcos definidos en un estudio estratégico y sus funciones velocidad-flujo serán las de dichas categorías. En caso que exista información local podrá cambiarse en dicha función la velocidad libre y eventualmente la capacidad. Cuando se trate de proyectos estructurales, aquellos arcos de entrada y salida que fueron considerados en la red estratégica tendrán su función correspondiente y para los restantes se deberá seguir el procedimiento esbozado para los proyectos no estructurales.

**3.2.2.4 Variables de calibración.** En este caso ellas son flujos de vehículos sin itinerario fijo y tiempos medios de viaje entre pares de centroides de zonas origen-destino, o ciertos

tramos predeterminados. Los requerimientos en el caso de los flujos han sido definidos en el párrafo 2.2.2.4 y los referentes a tiempos medios de viaje se especifican en el acápite 3.2.3. Tal como se indicó para los proyectos sin reasignación de flujos es indispensable que las mediciones de tiempos medios de viaje se realicen simultáneamente con las de flujos.

**3.2.2.5. Confección de los modelos.** Son aplicables en este caso las recomendaciones generales que se indican en el inciso a) del párrafo 3.1.2.3. Al usar el programa SATURN, sin embargo, no es sencillo modelar los buses como movimiento o arco diferenciado del resto del tráfico, salvo en situaciones muy particulares en que un determinado movimiento es realizado sólo por buses. Como se dijo, éste es uno de los motivos por el que el método de calibración aquí propuesto usa simultáneamente los programas SATURN y TRANSYT. También son aplicables las recomendaciones del inciso c) del párrafo 3.1.2.3 referentes al uso de TRANSYT. En cuanto a SATURN, además de lo ya mencionado sobre zonificación y definición de arcos conectores, debe hacerse hincapié en que en las intersecciones del área detallada de la red (al interior del área de referencia) éste modela por movimientos y no por línea de detención como lo hace TRANSYT. Debe tenerse un cuidado especial al modelar capacidades en los casos en que desde una pista los vehículos pueden realizar más de un movimiento. En el Capítulo 8 de este Manual se aborda más en detalle el tema de la confección de los modelos.

### 3.2.3 CALIBRACION

**3.2.3.1 Variables.** En este caso, la calibración consiste en comparar valores observados de flujos de vehículos sin itinerario fijo y de tiempos medios de viaje en la red para distintas categorías de vehículos (buses y autos especialmente) con los valores estimados por los programas SATURN y TRANSYT, en la forma que se indica luego en el párrafo 3.2.3.2.

**a) Flujos.** La selección de los flujos a utilizar para fines de calibración debe basarse en las siguientes consideraciones. En primer lugar, sólo debe utilizarse flujos de aquellas categorías correspondientes a vehículos sin itinerario fijo. Estos, debidamente ponderados por sus factores de equivalencia, serán sumados para expresar el flujo en  $veqlhr$ . En segundo término, puesto que la matriz de flujos origen-destino asignada para reproducir la situación actual, ha sido obtenida mediante un proceso de estimación a partir de una matriz a priori (proveniente de encuestas y de conteos de flujo en la red, es obligatorio que para fines de calibración los flujos a utilizar sean distintos e independientes de los considerados en el proceso señalado. Finalmente debe hacerse hincapié en que, en general, los flujos para calibración deben corresponder a arcos interiores del área de referencia. Sólo podrán considerarse flujos de arcos externos en los casos en que una zona externa esté unida a más de un arco de entrada (o a más de un arco de salida) del área de referencia. Es obvio que si un arco de entrada (o salida) está biunívocamente unido a una zona externa, el flujo sobre dicho arco será reproducido siempre en forma exacta por el programa.

**b) Tiempo medio de viaje.** Como se indica en el inciso b) del párrafo 3.1.3.1 el tiempo medio de viaje para una ruta o tramo determinado de la red deberá obtenerse a partir de un número de 12 observaciones, homogéneamente distribuidas dentro de la hora de medición, si se trata de automóviles y de 30, si se trata de transporte público. El número de rutas origen-destino en una red es siempre muy elevado. Se recomienda seleccionar algunas de ellas de forma de obtener al menos un valor de tiempo promedio de viaje para cada eje importante de la red. Cuando existen movimientos de giro con flujos importantes, se debe también obtener valores de tiempo medio de viaje en rutas que utilicen dichos giros.

**3.2.3.2 Calibración de la red.** La calibración de la situación actual para proyectos con reasignación de flujos puede resumirse como sigue. En primer lugar se simulará con SATURN. Este programa predice flujos en la red y tiempos medios de viaje en ella, sin diferenciar estos últimos por categoría de vehículo para un mismo trayecto o ruta. Este hecho constituye una limitación cuando los flujos de buses, cuyos tiempos medios de viaje son diferentes, presentan niveles importantes. Así, se recomienda calibrar solamente flujos y tiempos de viaje de vehículos sin itinerario fijo con SATURN. Los tiempos medios de viaje para vehículos de transporte público deben calibrarse en una segunda etapa, con TRANSYT. Deberá chequearse en todo caso que una vez calibrados estos tiempos, aquellos correspondientes a vehículos sin itinerario fijo en TRANSYT resulten coherentes con los obtenidos en la primera etapa de la calibración. De no resultar así, el analista deberá continuar su labor de calibración con TRANSYT. Finalmente, respecto a recomendaciones generales sobre el desarrollo del proceso de calibración, el lector debe remitirse al párrafo 3.1.3.4 de este Manual.

## SECCION 3.3- ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL

### 3.3.1 ENFOQUE

**3.3.1.1 Objetivos.** El propósito fundamental de esta actividad es proveer una sustentación adecuada a la formulación de alternativas de diseño. Todo lugar sujeto a proyecto 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 promisorias para obtener los efectos deseados con mayor eficacia, ya que fenómenos como congestión en un acceso pueden provenir de muy distintas causas. Las situaciones reales son complejas, con múltiples factores interactuantes. Abordarlas desde la perspectiva del diseño es un arte que no se atiene a reglas formales estrictas. Pero es beneficioso disponer de ciertas orientaciones que contribuyan al manejo sistemático de la información y a la consideración de los diversos intereses en juego.

**3.3.1.2 Antecedentes.** Los requerimientos para el estudio de cada proyecto especificarán los objetivos definidos para él y el ámbito de acción deseado, que se traduce en su clasificación. Esto resulta de un diagnóstico previo y determina el marco general en que debe inscribirse el análisis de la situación actual. La simulación de ésta en los periodos correspondientes, los otros datos recolectados y las impresiones recogidas en terreno por el analista constituyen los antecedentes inmediatos en que se basa esta actividad.

**3.3.1.3 Alcance.** Las actuaciones sobre la vialidad urbana repercuten en numerosos planos, que los métodos de evaluación de este Manual procuran incorporar. El análisis de la situación actual debe tener en vista todos ellos. No obstante, esta Sección contiene recomendaciones sólo en lo relacionado con los problemas de tráfico. A medida que se vayan desarrollando pautas de diagnóstico en materia urbanística, se irán incluyendo.

### **3.3.2 IDENTIFICACION DE PROBLEMAS**

**3.3.2.1 Influencia de; tipo de proyecto.** La clasificación de un proyecto define el carácter de las transformaciones de la situación actual que se pretende llevar a cabo. Esta intencionalidad confiere relevancia a diversos órdenes de problemas que es posible detectar. Un proyecto estructural, por ejemplo, no está concebido principalmente para abordar conflictos puntuales existentes en la actualidad en su área de referencia. Lo opuesto sucede con un proyecto de gestión sin reasignación de flujos. En consecuencia, tanto la perspectiva de la mirada que hay que dirigir a las redes simuladas como el grado de detalle que es pertinente en el análisis de los conflictos presentes están en función del tipo de proyecto.

**3.3.2.2 Proyectos estructurales.** En estos proyectos ya se cuenta con un diseño físico producido en el nivel estratégico, que es bastante más agregado. Hay que centrar el análisis en las características de la circulación en la red táctica que, no estando consideradas previamente, puedan significar aspectos críticos en el desarrollo del proyecto. El estudio debe apoyarse en las redes tácticas calibradas para la situación actual y en las estratégicas, en la zona correspondiente, de los tres cortes temporales si son proyectos de infraestructura. Si son de gestión, sólo hay que tener en cuenta el corte temporal más próximo, ya que el diseño es esencialmente operacional y puede adaptarse con facilidad al surgimiento de nuevos problemas en el futuro.

**3.3.2.3 Proyectos no estructurales con reasignación de flujos.** En este caso no hay diseño previo pero si hay una voluntad predeterminada de inducir redistribución de flujos en el área de referencia. Los requerimientos de cada estudio indicarán objetivos específicos al respecto, con los que se podrá individualizar que movimientos origen-destino son los principalmente sujetos a reasignación. A la luz de las redes calibradas en la situación actual hay que diagnosticar el estado de dichos movimientos y sus posibles rutas alternativas. En esta tarea debe cuidarse la diferenciación según categoría de vehículo, sobre todo si hay objetivos de priorización de alguna de ellas. Además de este análisis a nivel de red hay que tratar los conflictos existentes en las intersecciones más saturadas Si son proyectos de

infraestructura, se debe incluir nada más que aquellas que serán rediseñadas; si son de gestión, toda intersección con  $x > 0.9$  debe ser considerada. Este análisis local se hará de acuerdo con las pautas que más adelante se establecen para proyectos sin reasignación.

**3.3.2.4 Proyectos no estructurales sin reasignación de flujos.** En este tipo de proyectos los conflictos locales son el blanco directo del análisis y los problemas relevantes son los que se pueden detectar en la situación actual. La meta del diagnóstico es comprender sus causas, para orientar el diseño, y se refiere a intersecciones o tramos de vía individuales y a movimientos al mismo nivel local. El acápite 3.3.3 presenta algunos lineamientos para realizar esta labor.

**3.3.2.5 Jerarquización de problemas.** Cualquiera sea el caso, los estudios sugeridos conducirán a identificar una serie de problemas actuales o potenciales que afectan a diversos movimientos. A ellos han de agregarse consideraciones provenientes de otros ámbitos que el tráfico. Este conjunto debe ordenarse en función de los objetivos del proyecto y de la magnitud de los problemas, de modo de establecer una jerarquía en ésta y producir una síntesis de la información elaborada a partir de las redes simuladas y demás antecedentes.

### **3.3.3 ESTUDIO DE CONFLICTOS LOCALES**

**3.3.3.1 Generalidades.** Los conflictos tienen su origen en diferencias en la velocidad, dirección o función que desempeñan en un lugar determinado ciertas corrientes vehiculares o peatonales. Pueden pues aparecer en gran cantidad aún en una zona pequeña y de hecho así ocurre. La regulación del tránsito condiciona su desarrollo, llegando a prohibir algunos de ellos, por lo que no es suficiente para fines de diagnóstico observar los existentes o hacerlo con independencia de la regulación. 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.

**3.3.3.2 Descripción de conflictos.** Hay dos variables claves: participantes e intensidad. Los primeros pueden representarse como movimientos, incorporando así directamente origen-destino (zonas o accesos) y categoría de vehículos. La intensidad está relacionada con manifestaciones de los conflictos, de las cuales destacan dos: congestión y accidentes. Indicadores adecuados de congestión son el grado de saturación, si se trata de movimiento en una intersección, o la velocidad media, en un tramo de vía. Los accidentes se cuantifican recurriendo a su tasa anual por clase de accidente. Se puede así hablar de conflictos entre movimientos con una determinada intensidad. Un grupo especial, al que se le supone alta intensidad, está constituido por los movimientos impedidos.

**3.3.3.3 Detección de conflictos relevantes.** Se hace basándose en la intensidad. Nótese que ésta no aporta una individualización automática de los movimientos involucrados. Por ejemplo, un grado de saturación alto de un movimiento en una intersección semaforizada no puede adscribirse sin más al de otro movimiento. Entonces, la intensidad sirve para detectar movimientos críticos a lo que debe suceder un análisis más fino que permita detectar los conflictos a que responden. Los requerimientos establecidos para la simulación de la situación actual aseguran que se dispondrá de la información necesaria a estos efectos.

**3.3.3.4 Causalidad.** Seleccionado un conjunto de conflictos en cada elemento de la red que interese, hay que estudiar sus causas. Gran parte de los conflictos son inevitables y su origen evidente. Pero se trata de algo más: comprender por qué alcanzan cierta intensidad. Dos aspectos son, en principio, esenciales: si son conflictos derivados y si responden a subutilización de capacidad. El primero remite a eventuales encadenamientos por bloqueo y apunta a identificar cuellos de botella auténticos. El segundo lleva a discernir si hay margen de mejora en el terreno de la eficiencia o se está en presencia de un desequilibrio mayor entre flujo y capacidad. Los conflictos que se prueben derivados deben ser descartados para el análisis posterior, en que se buscan causas específicas.

**3.3.3.5 Subutilización local de capacidad.** Son dos las principales situaciones en que ella existe.

**a) Desequilibrio de grados de saturación.** Es el caso en que en una intersección hay movimientos que presentan un alto grado de saturación mientras otros que son conflictivos con ellos están notoriamente menos saturados. Puede deberse a que la forma de control de la intersección sea inapropiada. O, si está semaforizada, a que la programación, especialmente el diseño de fases o el reparto es deficiente.

**b) Capacidad anómala.** Es el caso en que un movimiento, o una combinación de ellos, poseen en la situación calibrada 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 de efecto marginal de los flujos prioritarios sobre la capacidad del secundario. A su vez, estas posibles 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, cualquiera sea el caso, radica en que el tratamiento a aplicar es distinto, como se deduce fácilmente de los ejemplos mencionados. Más aún, bien puede suceder que el resultado de un tratamiento local sea francamente incierto (por ejemplo, si el problema proviene de una parada de buses), llevando a suponer que la anomalía se mantendrá. Esta tarea de atribución de causas es el vínculo entre la

calibración y la generación de alternativas y exige una discriminación fina al interpretar una variable agregada como es el grado de saturación.

**3.3.3.6 Desequilibrio flujo-capacidad.** Cuando no hay subutilización significativa de la capacidad, 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 da carácter del desequilibrio. Primero, si se presenta similar problema a lo largo de un eje o sólo se da localmente. Segundo, si es relevante en intersecciones, en tramos de vía o ambos. Tercero, si está influido sistemáticamente por factores como estacionamiento en la calzada, alta proporción de transporte público o de virajes, que requieren tratamientos especiales. Indicadores sencillos pueden ilustrar eficazmente estos puntos; por ejemplo, el cociente entre el flujo que realiza algún viraje y el total que accede a una intersección.

**3.3.3.7 Accidentes y diagnóstico.** 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 poner de relieve 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. Pero no hay siempre concordancia en la conflictividad de la circulación y de la seguridad. Es por ello que se contempla tanto una selección de lugares a analizar sólo por indicadores de accidentalidad como el uso de éstos en lugares identificados en razón de indicadores de congestión.

**3.3.3.8 Requerimientos particulares.** El diagnóstico a nivel local es especialmente importante en proyectos sin reasignación de flujos. Dentro de ellos, los de gestión deben conceder atención preferente a los problemas de subutilización de capacidad. Se recomienda incluir todos los movimientos cuyo grado de saturación supere el 90% en algún

periodo punta o el 8,5% en ambos, o bien cuya velocidad de recorrido sea inferior a 30 km/hr, o bien estén impedidos. En los proyectos de infraestructura el énfasis ha de recaer en los problemas de desequilibrio flujo-capacidad, pudiendo obviarse el tratamiento de posibles subutilizaciones de la capacidad.

## SECCION 3.4: FLUJOS DE DISEÑO FISICO

### 3.4.1 CONCEPTOS GENERALES

**3.4.1.1 La función de los flujos de diseño.** La formulación de alternativas implica un dimensionamiento de las obras, que es definido mediante flujos de diseño. Pero como este dimensionamiento permanece constante a lo largo del periodo de evaluación en tanto que los flujos varían, el perfil temporal de beneficios depende de los flujos de diseño. La selección de éstos condiciona pues la evaluación. Más aún, si se consideran efectos de reasignación su magnitud variará, en cada corte temporal, según sea el tamaño y localización de las obras proyectadas. Hay que destacar este doble carácter de los flujos de diseño. Por una parte, son un dato inicial del proceso de diseño y evaluación y, por otra, constituyen límites para el resultado del proceso. Esta relación puede plantearse de otro modo: los flujos de diseño expresan una visión del proyectista sobre la forma de modificar los patrones de flujo actuales. Nótese, sin embargo, que diferencias en flujos de diseño sólo tienen relevancia práctica a partir de magnitudes discretos y significativas (que, por ejemplo, conducen a contemplar una pista más o una menos en un cierto tramo).

**3.4.1.2 La determinación de flujos de diseño.** La problemática esbozada en el párrafo precedente deja en claro que no es razonable determinar los flujos de diseño sólo a partir de la situación actual. Hay que añadir una idea de los impactos deseados. Estos no son, en general, obvios y es por eso que se realizan simulaciones de las redes para cada alternativa. Pero es impracticable un procedimiento continuo de: suponer impactos- definir flujos de diseño- generar alternativas-estimar impactos- revisar flujos de diseño, etc. El enfoque que se adopta en este Manual introduce interacciones pero de alcance limitado. Es así que el diagnóstico termina con la fijación de flujos de diseño que se emplean en la formulación de alternativas. Obsérvese que éstas pueden representar, aunque no necesariamente, diferentes hipótesis sobre qué flujos de diseño son adecuados. La selección de cuáles pasarán a evaluación contempla simulaciones que permiten afinar los flujos de diseño para la etapa de anteproyecto. La simulación de los anteproyectos entrega elementos para hacerles correcciones y, finalmente, la alternativa que se elija tras la evaluación es, normalmente,

sometida a una etapa de proyecto definitivo que parte con mayores antecedentes sobre impactos esperados. Hay lugar entonces para afinar y comparar los flujos de diseño iniciales. Dentro de este esquema general hay, no obstante, procedimientos distintos según el tipo de proyecto para generar aquéllos, que son propuestos en los acápites siguientes. En todos los casos, los flujos de diseño se expresan en veq/hr pero debe explicitarse su composición por categoría de vehículo.

### **3.4.2 PROYECTOS SIN REASIGNACION DE FLUJOS**

**3.4.2.1 Generalidades.** Son éstos proyectos de ámbito local cuyo propósito principal es resolver cuellos de botella o efectuar otros cambios en la capacidad, 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 (del tipo no estructural, por supuesto) no obliguen a intervenir nuevamente en el mismo lugar.

**3.4.2.2 Proyectos de gestión de tránsito.** La componente de diseño físico en estos proyectos es relativamente pequeña y el horizonte de evaluación es próximo. Se recomienda utilizar como flujo de desafío, donde corresponda, el flujo horario máximo entre todos los periodos en la situación actual proyectado a 3 años, con una capacidad de reserva del 10%.

**3.4.2.3 Proyectos de infraestructura.** Aunque los impactos sean de ámbito local, la vida útil de las obras es larga y hay múltiples costos asociados a la intervención del espacio urbano que son difíciles de prever o estimar. Es el caso de la congestión y otras perturbaciones a la vida urbana durante la construcción o de realizar expropiaciones pocos años después en la misma zona. Esto hace aconsejable establecer una reserva de capacidad sustancialmente mayor, sin perjuicio de conservar cierta homogeneidad con los accesos al área de proyecto. Se recomienda utilizar como flujo de diseño para cada movimiento el mayor de los flujos medidos en un cuarto de hora en la situación actual; si éste es muy superior al que le sigue, conviene usar el promedio de ambos. Al valor resultante se le aplica una capacidad de reserva del 50%.

### 3.4.3 PROYECTOS CON REASIGNACION DE FLUJOS

**3.4.3.1 Generalidades.** En este tipo de proyectos hay una fuerte ligazón entre la dimensión de las obras y las reasignaciones que se producen. Luego, los flujos en la situación actual requieren un cuidadoso escrutinio a la luz de los objetivos fijados para el proyecto antes de determinar los flujos de diseño. Pero si se trata de proyectos estructurales es preciso tener en cuenta que llegan a esta etapa ya con un diseño. Más aún, las características generales de éste influyen decisivamente en las estimaciones de demanda que se suponen invariantes de aquí en adelante. Dichas características no están sujetas a modificación.

**3.4.3.2 Proyectos estructurales.** En cierta medida, el diseño físico de este tipo de proyectos consiste en desarrollar uno existente. En términos de dimensionamiento, seguramente el mayor problema radicará en el tratamiento de intersecciones no incluidas en la red estratégica. Se conocen los flujos de diseño en el nivel estratégico para una serie de elementos que están en las redes estratégicas y táctica, para los cuales son también conocidos los flujos en la situación actual, en las redes calibradas. Sea  $P_{ij}$  el cociente entre ambas para el elemento  $i$  en el periodo  $j$  y  $P_i = \max_j \{P_{ij}\}$ . Se recomienda utilizar como flujo de diseño para un elemento que figura sólo en la red táctica su flujo actual, en el periodo correspondiente, multiplicado por el factor  $P_i$  de un elemento apropiadamente relacionado con él.

**3.4.3.3 Proyectos no estructurales.** No hay en este caso diseño previo y se presume que la demanda experimentará sólo una evolución vegetativa. A ésta hay que superponer la reasignación deseada para determinar los flujos del diseño. La perspectiva temporal para este análisis es distinta según se trate de proyectos de infraestructura o de gestión.

**a) Proyectos de infraestructura.** Dados los objetivos del estudio, los problemas identificados y la red simulada en la situación actual es posible hacer una estimación gruesa de la magnitud de los flujos cuya ruta se desea cambiar, en dicha situación. El monto de este flujo en el periodo punta más el actual, si es una vía o intersección existente,

proyectado a 10 años y con una capacidad de reserva de un 25% puede ser adoptado como flujo de diseño.

**b) Proyectos de gestión de tránsito.** Esta clase de proyectos se refiere a medidas como cambiar sentidos de tránsito o introducir un esquema de prioridad para algún grupo de usuarios. Entonces, las reasignaciones de flujo pueden constituir un inevitable subproducto tanto como que una expresión de los objetivos per se. Es difícil visualizar a priori en qué lugares de la red serán necesarios rediseños físicos para optimizar el patrón de flujos reasignados. Por los motivos expuestos, no es conveniente especificar flujos de diseño iniciales. El dimensionamiento cobrará importancia en pasos posteriores del proceso de evaluación, ya alimentado con reasignaciones obtenidas con simulación, en la óptica reseñada en el párrafo 3.4.1.2.

## **CAPITULO 4: GENERACION DE ALTERNATIVAS A EVALUAR**

### **SECCION 4.1: FORMULACION DE ALTERNATIVAS**

#### **4.1.1 DEFINICION DE LA SITUACION BASE**

**4.1.1.1 Criterio general.** La evaluación de un proyecto implica comparar entre si diversos cursos de acción. Los indicadores de rentabilidad social que se obtienen son entonces relativos y en procura de darles un sentido homogéneo, se define una situación de referencia que comporta cambios menores o nulos. Esta se denomina situación base y existe para cada corte temporal. Su alcance depende del tipo de proyecto.

**4.1.1.2 Proyectos estructurales.** Estos son sometidos a evaluación propiamente tal en el nivel estratégico. Aquí, en el nivel táctico, sólo interesa comparar entre si alternativas de diseño y consecuentemente no se considera una situación base.

**4.1.1.3 Proyectos no estructurales de gestión.** En este caso, el objetivo principal del proyecto es optimizar, a través de inversiones reducidas, la situación actual, lo que hace aconsejable que ésta sea la base. Pero como hay que referirla al corte temporal en que se evaluará, en que los flujos serán distintos de los presentes, debe adecuarse la programación de semáforos a los flujos proyectados. Si es un proyecto con reasignación, es admisible también introducir algunas medidas de gestión para paliar problemas identificados en el diagnóstico y que no figuran entre los que pretende abordar el proyecto.

**4.1.1.4 Proyectos no estructurales de infraestructura.** En este tipo de proyectos debe prestarse especial atención a la definición de la situación base. Con frecuencia, las condiciones deterioradas que se dan en la situación actual responden, al menos parcialmente, a una utilización ineficiente de la vialidad disponible. Medidas de costo sustancialmente inferior al del proyecto podrían, en tales circunstancias, producir mejoras importantes. Introducirlas en la situación base evita atribuir a la nueva infraestructura beneficios que no le son propios. El carácter de dichas medidas ha de estar en proporción al

del proyecto en cuanto al ámbito espacial de aplicación y a su costo. No obstante, se recomienda fuertemente que ellas sean de gestión de tránsito, orientadas a abordar problemas de subutilización de capacidad detectados en el diagnóstico. Es cierto que a veces cabe concebir soluciones que conlleven modificaciones a la infraestructura de magnitud menor. Es preferible que éstas se traten como alternativas de diseño y no como componentes de la situación base. En particular, no pueden incluirse en ésta rediseños que impliquen expropiaciones o reposición de servicios públicos.

**4.1.1.5 Incidencia del corte temporal pertinente.** Entre los proyectos en que hay que considerar situación base hay un solo tipo en que se incorpora un segundo corte temporal: no estructurales de infraestructura con reasignación de flujos. Se recomienda en este caso mantener todas las características de diseño del primer corte temporal salvo la programación de semáforos, que deberá adecuarse a los flujos estimados para el segundo. Consecuente con lo antes expresado, más apropiado que introducir modificaciones escalonadas en el tiempo en la situación base es generar una alternativa de diseño de tipo intermedio.

**4.1.1.6 Medidas a considerar en proyectos de infraestructura.** Algunas medidas deberán ser siempre incorporadas y otras dependerán del estudio en particular.

**a) Medidas genéricas.** Se supondrá que en la situación base todas las intersecciones semaforizadas del área de referencia disponen de controladores que admiten coordinación y tantos planes distintos como periodos haya, sin limitación en cantidad de ciclos, repartos o desfases independientes. Este supuesto se aplica cualquiera sea la condición de los controladores en la situación actual. Mejoras en la iluminación o aspectos similares que se estime necesarias desde el punto de vista urbanístico o de seguridad vial pertenecen también a esta categoría.

**b) Medidas específicas.** Son medidas de gestión relevantes para elevar la utilización de la capacidad disponible. Hay que poner énfasis en el tratamiento de virajes con oposición y movimientos peatonales, incluyendo canalizaciones si son pertinentes, y en

el acondicionamiento de la carpeta de rodado. Medidas sobre la operación de los buses, el estacionamiento o la carga-descarga podrán ser formuladas en términos de ofrecer un desafío más racional pero sólo se les asociarán cambios en parámetros de la circulación si se aportan métodos contables para estimar sus impactos. Si es un proyecto con reasignación, caben también modificaciones no sustanciales de sentidos de tránsito o imponer restricciones selectivas de acceso a ciertas vías. En todos los casos, por último, se revisará la programación de los semáforos.

Definidas las medidas a adoptar, la situación base deberá ser especificada al mismo nivel que las alternativas de diseño, en términos físicos y operacionales. Los requerimientos en cuanto a cobertura espacial, años horizonte y periodos pueden variar según se trate de seleccionar alternativas (ver Sección 4.2) o de llevar a cabo su anteproyecto y evaluación.

## **4.1.2 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS**

**4.1.2.1 Concepto de alternativa.** Un proyecto representa una transformación de la situación base que pretende alcanzar objetivos determinados. El modo de intervención sobre la vialidad o su uso queda definido para cada estudio, mediante la clasificación del proyecto. Pero él puede materializarse de diversas formas, que difieren sensiblemente en sus características físicas u operacionales pero no en el tipo y ámbito de los impactos que producen. Estas formas se denominan alternativas.

**4.1.2.2 Objetivos y antecedentes.** Todo proyecto tiene efectos en cuatro aspectos principales: fluidez del tráfico, seguridad vial, accesibilidad al transporte y a la propiedad adyacente y calidad ambiental del área circundante. Generar alternativas supone conocer objetivos específicos en cada aspecto, sea para modificarlo o para mantenerlo inalterado, los que deberán ser explicitados con el mayor detalle posible. Las orientaciones provistas en los requerimientos del estudio, el diseño previo (si es un proyecto estructural), la información recolectada y su análisis en el diagnóstico y las opiniones e inquietudes de los usuarios y organismos locales involucrados, conforman los antecedentes en que ha de basarse esta actividad.

**4.1.2.3 Diferenciación de alternativas.** Normalmente habrá varios elementos físicos comprometidos por el diseño para los que cabe idear tratamientos distintos. No por ello la más mínima modificación constituirá una alternativa. Conviene diferenciar acciones primarias y complementarias y sólo las primeras podrán dar origen a alternativas diferenciadas.

**a) Acciones primarias.** Son las que constituyen la esencia del proyecto en cuanto determinan el carácter y la magnitud de las obras a emprender. Por ejemplo, solución a nivel o a desnivel en un nudo, ensanchar a tres o a cuatro pistas una vía, abrir una nueva conexión de doble sentido de tránsito o dos de sentido único. O, si se trata de proyectos de gestión, hacer un cambio de sentido de tránsito o imponer sentido reversible, establecer prioridad para ciertos usuarios en unas u otras vías u horas.

**b) Acciones complementarias.** Son aquellas destinadas al tratamiento de conflictos locales o a corregir 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. Si bien hay varias maneras de concretar acciones semejantes no constituyen alternativas, tal como éstas han sido definidas. Son decisiones que hay que adoptar al interior de cada alternativa como problema de diseño operacional.

**4.1.2.4 Definición de alternativas.** El estudio conjunto de los antecedentes mencionados permitirá identificar formas alternativas de alcanzar los objetivos planteados. Aunque ellas pueden ser muy distintas de un proyecto a otro es necesario, en primer lugar, que su concepción esté sujeta a estándares generales derivados de la jerarquía que ocupa en la red cada vía. A continuación se indican algunas recomendaciones adicionales según el tipo de proyecto.

**a) Proyectos estructurales.** Las alternativas deben respetar las características básicas del diseño físico desarrollado en el nivel estratégico y también los condicionamientos que pueda haber al diseño operacional, por ejemplo a través de esquemas de prioridad al transporte público.

**b) Proyectos de infraestructura.** Debe tenerse presente la flexibilidad de cada solución para admitir mejoras físicas u operacionales significativas en el futuro para enfrentar demandas mayores de ocurrencia incierta en el periodo de evaluación y, por tanto, no incorporadas en los flujos de diseño. Es, sobre todo, el caso de proyectos en áreas con usos del suelo no consolidados o en proceso de transformación.

**e) Proyectos no estructurales de gestión.** Estos no atraviesan por una selección de alternativas ya que ellas son escasas. Lo fundamental en este caso es, apoyándose en el diagnóstico, concebir acciones que efectivamente provocarán los cambios deseados en los parámetros operacionales. Muchas veces, medidas exitosas en un contexto no lo son en otro

para un mismo problema; justificar detalladamente las medidas propuestas es, entonces, esencial en estos proyectos.

De aquí resultará un número variable de alternativas, 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 dominada por otra o presenta debilidades serias. Tales alternativas pueden ser descartadas de inmediato. Las restantes serán sometidas a una elaboración mayor para pasar a un proceso de selección en que se determina cuáles seguirán a la fase de anteproyecto y evaluación.

**4.1.2.5 Especificación de alternativas.** Cada alternativa debe contar con un diseño físico y operacional en el área de referencia; el primero no cambia en el tiempo pero si el segundo. Se establecen exigencias distintas para las fases de selección, que se indican en los acápites siguientes, y de anteproyecto y evaluación, contenidas en la Parte II de este Manual.

### **4.1.3 PREDISEÑO FISICO**

**4.1.3.1 Punto de partida y objetivo.** Esta etapa se inicia con el bosquejo de composiciones viales en planta que parezcan satisfacer las necesidades viales expresadas en flujos de diseño (ver Sección 3.4) o resolver los problemas de operación que se hayan diagnosticado. Estas ideas, imaginarias frente al terreno, asistidas cuando proceda por croquis longitudinales y transversales, y enriquecidas con la demás información de terreno especificada en 5.1.3 y 5.1.4, deben ser sometidas a una selección que deje un número reducido de ellas para ser desarrolladas a nivel de prediseño. El objetivo de las tareas que se especifican a continuación, correspondientes a ese nivel, será el traspaso de dichas ideas a planos. En estos planos se deberá graficar la ubicación y forma de los elementos vehiculares, peatonales y mixtos constitutivos de la plataforma vial (ver 1.3.2.4.d), con un grado de precisión que baste para creer en su factibilidad física y para calcular presupuestos con desviaciones menores que los rangos considerados en el análisis de sensibilidad (ver 9.4.2.2).

**4.1.3.2 'Trazado.** Los bosquejos a nivel de idea, predimensionados a mano alzada de acuerdo con los flujos de diseño que surgen del diagnóstico (ver párrafo 3.4.1.2), prefiguran composiciones aparentemente factibles de la plataforma vial. Estos bosquejos deberán hacerse sobre la planta topográfica e ir acompañados con croquis de los rasgos principales de la altimetría (longitudinal y transversal), cuando las ideas involucren modificaciones importantes en alzado. El tránsito desde el nivel de idea bosquejada hasta el de prediseño es una transcripción de los bosquejos a planos escalares, mediante recursos principalmente gráficos. En este sentido, el trazado de una obra de infraestructura vial a nivel de prediseño es una segunda etapa del diseño físico, que supera aquella donde la idea se esbozó a mano alzada, pero que aun requiere precisiones si lo que se pretende es avalar la factibilidad física de lo disecado, la correspondencia entre esto y lo que se vaya a construir, y la consistencia entre capacidad y demanda futura (ver acápite 3.4.1).

**4.1.3.3 Planta de prediseño.** La transcripción mencionada, en lo que a planta se refiere, requerirá los siguientes pasos u otros equivalentes: primero, la selección de algunos de los

elementos lineales que configuran la idea original (ejes de simetría, bordes de pista o calzada), para establecerlos como gula del diseño gráfico (ejes provisorios) y con miras a hacer de ellos los ejes de replanteo del anteproyecto; y luego, la traducción de uno o más de esos elementos a líneas continuas sobre la planta topográfico, haciendo uso de plantillas rectas, circulares y ojalá clotoidales según sea el caso. 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 sendos puntos de las calzadas desde las cuales surgen o a las cuales ellas llegan; y su número y posición deben bastar como nervadura de la composición ideada, en torno a la cual se articularán los elementos de la plataforma vial asociados a ellas.

**4.1.3.4 Elevación de prediseño.** El traspaso a planos de los croquis longitudinales y transversales mencionados en el párrafo 4.1.3.2., cuando ellos hayan sido requeridos, deberá ejecutarse sobre perfiles del terreno obtenidos de la planimetría. Las cotas y distancias en el eje para estos perfiles provendrán, en el caso de los perfiles longitudinales, de las sucesivas intersecciones de las curvas de nivel de la topografía con las líneas elegidas como guías para el diseño gráfico (ejes provisorios), y en el caso de los perfiles transversales, de las intersecciones de dichas curvas de nivel con líneas perpendiculares al eje longitudinal previamente definido, trazadas por puntos de éste que estén distanciados entre si por veinte metros, aproximadamente (ver 11.1.3.2).

**4.1.3.5 Aspectos urbanísticos y ambientales.** En el prediseño físico de alternativas se debe considerar aquellos aspectos urbanísticos y ambientales que resulten afectados por las composiciones, con el fin de incorporar, desde el primer momento, factores de costo surgidos de este ámbito. Esto obliga a realizar un reconocimiento del área de referencia en forma previa al planteamiento de ideas, de modo que se tenga una primera visión del uso generalizado del suelo y de su valor predominante (alto, medio o bajo), de la calidad y tipo de edificación, y de la calidad ambiental. Tal reconocimiento deberá complementarse con consultas a los organismos municipales y/o ministeriales que puedan dar razón de los planes reguladores y de los seccionales vigentes (ver acápite 5.1.3 y párrafo 11.1.2.3).

**4.1.3.6 Esquemas de reposición de servicios.** A nivel de prediseño, los esquemas de reposición se desarrollarán sobre la base de la información correspondiente al primer nivel de recolección descrito en 5.1.4. En general, bastará con resolver la reposición en planta, estimando profundidades medias de colectores y tuberías, con el fin de ubicar los diferentes ítems de la obra. Esto sin perjuicio de identificar todos aquellos puntos de las redes que sean interferidos por el prediseño, haciendo hincapié en el sistema de alcantarillado de aguas lluvias y aguas servidas, por los mayores condicionamientos que su reposición presenta. En el caso de las redes de electrificación y teléfonos, se deberá identificar y presupuestar la reposición del tendido aéreo sobre la base del número de postes a trasladar, estimando la reposición de la red subterránea en conjunto con la compañía correspondiente.

#### **4.1.4 PREDISEÑO OPERACIONAL**

**4.1.4.1 Alcance.** Para seleccionar alternativas, cuando procede, cada una debe tener definidas sus características operacionales a nivel de prediseño. Según el tipo de proyecto será necesario, para la estimación preliminar de impactos, simular determinados períodos en cortes temporales y situaciones (alternativas y base, si corresponde) también determinados. Como la gestión debe acomodarse ante variaciones en flujos y/o capacidades, cada una de las combinaciones anteriores requiere un prediseño operacional propio. Los criterios y técnicas que se exponen en el Capítulo 7 son, en general, aplicables con las precisiones que se hacen a continuación.

**4.1.4.2 Normas generales.** El prediseño operacional cubrirá todos los elementos de la vialidad en el área modelada, de forma de poder estimar los parámetros que los caracterizan. Análogamente a la situación base, se supondrá que en toda alternativa se dispone de controladores de semáforos capaces de manejar tantos planes independientes como períodos haya. Los flujos a considerar para cada movimiento o par O-D son los estimados para el periodo y corte temporal respectivos (ver Sección 2.4). Trátese de una alternativa o de la situación base, la situación actual constituye la referencia. Es decir, el prediseño operacional consiste en modificar el existente, modificaciones que deben ser explícitas y fundamentadas. Los elementos que no experimenten cambios mantendrán los parámetros operacionales con que figuran en la situación actual.

**4.1.4.3 Proyectos de gestión.** Los no estructurales no están sujetos a prediseño. En los estructurales, que siempre tienen reasignación, hay que concentrarse primero en los efectos de las acciones primarias sobre los parámetros pertinentes de la red. Tras realizar una corrida del programa de asignación se revisará el tratamiento de los movimientos más conflictivos, en cuanto al uso de pistas y diseño de fases; luego se ajustarán los tiempos de los semáforos y se hará una nueva asignación, iterando si es necesario. El proceso descrito debe ser común para todos los periodos considerados en cada alternativa; sólo la fase final de iteración programación de semáforos-asignación es específica a cada periodo. Las

acciones complementarias deben ser incorporadas pero sin recibir una atención mayor; ellas serán más estudiadas para las alternativas seleccionadas en la etapa siguiente.

**4.1.4.4 Proyectos de infraestructura.** En estos proyectos el diseño operacional no debe jugar un rol diferenciador entre alternativas, salvo las inevitables consecuencias de las variaciones de capacidad que comportan. Por lo tanto el esquema general debe ser el mismo en materia de regulaciones, con lo que las diferencias aparecerán principalmente en los parámetros. Esto influye lógicamente en la programación de semáforos. En proyectos con reasignación de flujos habrá también que iterar programación y asignación.

## SECCION 4.2: SELECCION DE ALTERNATIVAS

### 4.2.1 CRITERIOS GENERALES

**4.2.1.1 Introducción.** Aunque para generar alternativas se haya seguido un proceso estructurado y apoyado en la simulación de la situación actual, no todas ellas merecerán un análisis más detallado. Las restricciones de recursos de los estudios obligan a considerar en el nivel de anteproyecto un número reducido de situaciones. Para que la selección sea objetiva y lo más consistente posible con el conjunto del proceso de desarrollo de un proyecto, debe basarse en métodos similares a los que se usan posteriormente en su evaluación. Por otra parte, es recomendable que esta actividad signifique un volumen de trabajo proporcionado a la trascendencia de la decisión en que resulta y al grado de precisión de la información con que se alimenta, definido por los prediseños. Se entiende que algunas de las ideas de proyecto concebidas pueden haber sido previamente descartadas, según lo indicado en el párrafo 4.1.2.4.

**4.2.1.2 Estimación preliminar de costos.** El presupuesto de costos de los prediseños debe distinguir los capítulos de la Tabla 9.2.2 (1). Los ítems considerados en cada uno de éstos dependerán de la existencia, tipo físico y modo de ejecución de las obras civiles involucradas, pero se exigirá cubicaciones basadas en perfiles transversales para las obras de tierras o explanaciones, y en perfiles tipo, con sus longitudes o superficies de vigencia, para firmes, drenajes y reposiciones subterráneos. La cubicación de obras de iluminación, paisajismo de revestimiento no consideradas en el perfil tipo, de reposición de servicios públicos aéreos, y de defensas, deberán basarse en relaciones de ellas que tengan representación explícita en los planos. Se- permitirá partidas alzadas sólo en los ítems donde no se entrega precio unitario en la Tabla 9.2.2 (1). Los costos del proyecto de construcción, y de la asesoría y supervisión de ésta, deben calcularse como un porcentaje del costo de la obra, tomando como referencia los aranceles de j Colegio de Ingenieros. Los imprevistos deberán guardar debida relación con los rangos usados en el análisis de sensibilidad.

**4.2.1.3 Estimación preliminar de beneficios.** Se hará una estimación de consumos de tiempo de los usuarios y combustible, a partir de las redes o modelos de intersección aislada calibrados para la situación actual. Por lo tanto, los periodos a considerar en cada caso serán los utilizados en la calibración. Los consumos y beneficios serán determinados con los procedimientos estipulados en el Capítulo 9. La modelación de los prediseños a estos efectos se atenderá a las pautas del Capítulo S. Algunos problemas especiales relacionados con el tipo de proyecto son discutidos en el párrafo 4.2.1.5.

**4.2.1.4 Selección de las alternativas.** El propósito es que pasen a la fase siguiente las que cumplan dos condiciones básicas: constituir proyectos de inversión con alta probabilidad de ser socialmente rentables; producir un conjunto de impactos que se juzga preferible al de otras alternativas. La primera condición es de carácter absoluto en tanto la segunda es relativa.

**a) Rentabilidad social.** Será cuantificada mediante los indicadores económicos especificados en la Sección 9.4 y, si corresponde, en la 9.5. Estos deberán ser superiores a los mínimos establecidos pero hay que tener presente que la estimación tiene una incertidumbre no despreciable a nivel de prediseño. Se sugiere descartar una alternativa por este concepto únicamente si sus indicadores son un 30% o más inferiores a los mínimos. En otro caso, este aspecto debe ser valorado junto al análisis más amplio de impactos.

**b) Comparación de impactos.** Además de los incluidos en la evaluación económica, hay impactos de tipo social o ambiental que son importantes para apreciar el valor de una alternativa. Las características del prediseño físico en esta materia (ver párrafo 4.1.3.5) y las estimaciones de tráfico de los modelos permitirán analizar estos impactos, siguiendo las recomendaciones del Capítulo 10. Es fundamental agregar otras consideraciones cualitativas, entre las que destacan robustez y flexibilidad. 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 periodos y categorías de vehículos. La flexibilidad remite a la capacidad de las obras proyectadas para acoger futuras ampliaciones o modificaciones de diseño sin ver menoscabada su funcionalidad, las que

pueden ser previsibles ante variaciones de la evolución supuesta de los patrones de uso del suelo o del nivel y composición del tráfico.

c) **Síntesis.** Todos estos antecedentes serán sistematizados en Tablas resumen para cada alternativa para dar pie a un examen globalizado. Aquellas alternativas que muestren un comportamiento satisfactorio y que produzcan dudas razonables en cuanto a cuál puede ser mejor, pasarán a la fase siguiente. Normalmente, serán entre una y tres, dependiendo del tipo de proyecto. Obviamente se añade a ellas la situación base, excepto en proyectos estructurales. La decisión sobre la selección será de responsabilidad del supervisor del estudio.

**4.2.1.5 Peculiaridades según tipo de proyecto.** Además de las especificidades asociadas a la simulación de la situación actual, que inciden por conducto de las redes con que se estiman preliminarmente los beneficios, hay otras diferencias entre tipos de proyecto en el proceso de selección.

a) **Proyectos estructurales.** Puesto que inducen cambios en la demanda, que pueden representar distribuciones de flujos significativamente distintas a lo largo del tiempo en el área de referencia, la estimación de beneficios debe hacerse para el primero y el último de los cortes temporales pertinentes. En consecuencia, se manejan indicadores de rentabilidad de largo plazo.

b) **Proyectos no estructurales sin reasignación.** En este caso sólo hay calibración de la situación actual para los periodos punta. Para estimar los indicadores de rentabilidad social hay que disponer de beneficios en todos -los periodos. Se puede extrapolar los calculados para los periodos punta al resto haciendo uso de curvas beneficio por hora versus nivel de flujo, tomadas de la evaluación de estudios análogos.

c) **Proyectos de gestión.** Si no son estructurales, normalmente se seleccionará una sola alternativa. Si lo son, es posible que se justifique una segunda.

**4.2.1.6 Definiciones para evaluación.** Determinadas las alternativas de diseño que serán sometidas a anteproyecto y evaluación social, algunos elementos básicos que han sido empleados hasta este punto con definiciones relativamente arbitrarias, pueden ser precisados.

**a) Impactos.** Se especificará detalladamente los impactos que comprenderán la evaluación, en particular los de carácter social y ambiental.

**b) Categorías de usuarios.** Es posible que a la vista de los antecedentes disponibles, se considere importante incluir categorías adicionales a las tenidas en cuenta en las mediciones primarias, aunque sea en puntas o zonas limitadas del área de proyecto.

**c) Área de influencia.** Hasta aquí se ha trabajado con un área de referencia que constituye un supuesto sobre la extensión especial de los impactos. Las simulaciones realizadas para estimar los beneficios de las alternativas seleccionadas permiten refrendar o modificar este supuesto. Así quedará definida el área en que se debe estimar los impactos para la evaluación, que se denomina área de influencia.

**d) Fenómenos prioritarios.** Atendiendo a las características de las alternativas seleccionadas se puede identificar las variables de tráfico que son cruciales para el proyecto en cuestión. La modelación de las redes deberá orientarse a captar con mayor fidelidad los cambios en esas variables, pudiéndose tratar con menor detalle los fenómenos más influyentes en otras no prioritarias.

A consecuencia de estas definiciones cabe que surja la necesidad de realizar mediciones complementarias.

## **CAPITULO 5 OBTENCION DE INFORMACION**

### **SECCION 5.1: INFORMACION DEL TERRENO**

#### **5.1.1 GENERALIDADES**

**5.1.1.1 Obligación básica.** La obtención de información deberá ser entendida como un proceso continuo y flexible a lo largo de las etapas del estudio -prediseño y anteproyecto- de modo que las tareas respectivas, en número, extensión y profundidad, puedan ir desarrollándose en la medida que dichas etapas las requieran; esto sin perjuicio de una programación que prevea la división y/o agrupamiento de esas tareas de acuerdo a las conveniencias del estudio en términos de calidad, plazos y costos. Una idea de solución pausable no deberá ser descartada por la sola razón de no disponerse de la información mínima necesaria para desarrollarla.

**5.1.1.2 Información inicial mínima.** La etapa de generación de alternativas, al inicio del prediseño, requiere un mínimo de información inicial relativa a topografía, urbanismo, calidad ambiental, infraestructura y equipamiento. 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 presuma 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.

**5.1.1.3 Información adicional.** La información inicial será complementada en la medida que los prediseños merezcan y requieran extensiones, precisiones y profundizaciones para avanzar hacia el nivel correspondiente a anteproyecto. La cuantía y tipo de información adicional relativa a aspectos urbanísticos y ambientales surgirá de una apreciación del grado de intervención -tanto de la plataforma pública en el área de referencia como de las actividades de borde- que las obras estudiadas supongan, y en particular, de la existencia de desnivelaciones y pavimentaciones con características y extensiones capaces de producir impactos urbanísticos significativos. En cuanto a la representación del terreno, en sus aspectos cualitativos (calidad de suelos), morfológicos (topografía) y de equipamiento (servicios), la cuantía y tipo de información adicional dependerá, además de las particularidades recién descritas, del tipo de proyecto y de la extensión de las áreas de referencia y de influencia que se delinee en el proceso; esto último especialmente en el caso de la topografía.

## **5.1.2 TOPOGRAFIA**

**5.1.2.1 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 anteproyectado y lo existente. Las tareas topográficas a realizar durante el estudio, así como el alcance y grado de desarrollo de la representación gráfica del terreno y de sus contenidos urbanísticos, dependerán del tipo de proyecto estudiado (proyecto estructural, de gestión o infraestructura y de las características de las obras previstas (ensanches, habilitaciones, rediseños...)) 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. A continuación se plantean las especificaciones que deben regir la representación topográfica para todos los estudios en los que se prevea la aparición de calzadas nuevas o modificaciones de trazado en la vialidad existente, y al final se resumen las simplificaciones posibles para casos en que tales apariciones o modificaciones no se producen.

**5.1.2.2 Tecnologías.** Los levantamientos podrán ser ejecutados mediante equipos ópticos o electrónicos que permitan mediciones (no estimaciones) de ángulos horizontales y verticales con precisión mejor que un minuto, y nivelar de modo que la desviación estándar para un kilómetro de doble nivelación sea mejor que 2,5 mm. (Ver Capítulo 2.300 del Manual de Carreteras del MOP). También se podrá recurrir a restituciones aerofotogramétricas, en el entendido que las alturas de los vuelos sean las que corresponden a las escalas solicitadas, que las fechas de los mismos sean recientes y que los trabajos de apoyo en terreno sean compatibles con las exigencias que se detallan en lo que sigue.

**5.1.2.3 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 de las etapas de prediseño y 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. A continuación se entregan, a título indicativo, algunas longitudes mínimas para tales extensiones, aplicables a los proyectos sin desnivelaciones. Cuando se prevean desnivelaciones, estas longitudes deberán ser estimadas en cada caso, según la topografía del lugar, la geometría de las soluciones posibles y la velocidad de diseño que se planea aplicar en dichas soluciones.

**TABLA 5.1.2 (1)**  
**ALCANCE MINIMO DE TOPOGRAFIA HACIA CALLES**  
**ADYACENTES (\*) (PROYECTOS A NIVEL)**

Vel. Diseño (Km /hr	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Dist. Aprox. (m)	50	65	75	85	95	105	115	125	140	155	160

(\*) Distancias medidas a partir de línea-solera del lado de las extensiones tabuladas.

**5.1.2.4 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. Ver elementos y simbología en 11.1.1.4.

**5.1.2.5 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 y/o con clavos HILTI o similares. De tal modo, en cualquier momento del estudio, o incluso en instancias de proyecto posteriores, deberá ser posible entregar coordenadas (x; y; z) de 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 aproximadamente en la dirección norte-sur, con el sentido creciente de las ordenadas [y] dirigido hacia el norte.

**a) Bases.** Si la extensión y forma de la zona lo permite, el levantamiento topográfico podrá basarse en una línea, de preferencia coincidente con algún elemento urbano lineal que, en el mejor de los casos, 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 básales -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, y de preferencia ambos, tendrá 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.

**b) Poligonales.** Cuando la extensión o 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 perpetuarse 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.

**5.1.2.6 Puntos representados por coordenadas.** (Ver párrafo 11.1.2.2, inciso h.) Además de la representación gráfica en planta y elevación especificada, se debe producir un listado de coordenadas (x; y; z) de los siguientes elementos:

**a) 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.

**b) Coordenadas de elementos físicos.** Se debe coordinar 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.

**c) 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 (proyecto), también deberá 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.

**5.1.2.7 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.

**a) 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.

**b) Perfiles de calzadas existentes.** Cuando los nuevos esquemas aprovechen las calzadas existentes (por ejemplo: ensanches de calzada), la altimetría de éstas 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 éste, tendrán origen y final en los límites definidos en el párrafo 5.1.2.3; 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 éste deberán ser las de pavimento, sin perjuicio de que en los perfiles transversales se refleje la cota superior correspondiente.

**c) Zonas de borde.** Para todo proyecto se definirá 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 párrafo 5.1.2.6, inciso c, 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.

**5.1.2.8 Topografía complementarla para anteproyecto.** Una vez concluida la fase de prediseño, será necesario complementar la información topográfico 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.

**a) Replanteo de ejes.** Una vez concluida la fase de prediseño y seleccionadas) la(s) alternativas) que se desarrollarán a nivel de anteproyecto, se deberá resolver matemáticamente el trazado de los ejes viales sobre los que se apoyan los diseños seleccionados (ver 6.1.1.5). Esta definición supone el cálculo de coordenadas [x; y] de puntos del eje distantes entre si cada 20,00 metros (PP: Puntos de Perfil), que son los que deberán replantearse por triangulación en terreno, apoyándose para ello en las bases o poligonales allí estabilizadas (ver 5.1.2.5 y 11.1.4.3)

**b) Perfil longitudinal de anteproyecto.** Los ejes viales replanteados (ejes de replanteo) deberán nivelarse para generar perfiles longitudinales de terreno a lo largo de ellos. Los puntos nivelados serán los mismos PP cada 20,00 m. mencionados anteriormente (ver 6.1.2.3 y 11.1.4.5).

**c) Perfiles transversales de anteproyecto.** Apoyándose en los PP nivelados, se deberá generar perfiles transversales al eje de replanteo (ver 6.1.2.4 y 11.1.4.6).

**5.1.2.9 Topografía de sectores especiales.** Una vez replanteados los ejes y determinados en terreno los puntos donde se construirán estructuras, se procederá a densificar el levantamiento original para producir una planta a escala 1:250 y con curvas de nivel cada 0,25 metros (ver 11.1.2.2g).

**5.1.2.10 Caso de los proyectos estructurales.** Estos proyectos ya han sido desarrollados al nivel de prediseño, por lo que sólo requerirán las ampliaciones y abundamientos topográficos descritos en el párrafo 5.1.2.8, relativos a la definición matemática de ejes, al replanteo de los mismos y a la generación de perfiles longitudinales y transversales de terreno.

**5.1.2.11 Caso de los proyectos de gestión.** Cuando los estudios no involucren diseño de infraestructura, o cuando el alcance de las modificaciones de la vialidad se reduzca a pequeños ensanches, rectificando de curvas en esquinas, islas sobrepuestas y obras menores en general, no será necesario desarrollar más que una planimetría simple. Se podrá prescindir de información altimétrica y del replanteo.

**5.1.2.12 Caso de los ensanches.** Al igual que en los proyectos de gestión, cuando el estudio contemple zonas de ensanche de calzada, la topografía de tales zonas puede ser ejecutada a nivel de planimetría. No se requiere en tales casos la definición matemática de ejes ni el replanteo de los mismos.

**5.1.2.13 Caso de las habilitaciones.** Si el estudio se refiere a la creación de vialidad nueva en entornos urbanos no definidos, se preferirán las restituciones aerofotogramétricas donde se destaque la morfología de las propiedades eventualmente afectadas.

**5.1.2.14 Requerimientos mínimos iniciales.** La descripción gráfica del terreno puede ser minimizada cuando el área de referencia sea mucho mayor que las que presumiblemente

constituirán el(las) área(s) de proyecto, y se tenga buenas razones para creer que la definición de estas últimas 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 convenientemente titulado o marcado. 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, hasta llegarse al nivel que brinda una ampliación de la cartografía 1:20.000 publicada por la Compañía de Teléfonos en su Guía Anual (original de Dicartec). 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.

### **5.1.3 URBANISMO Y AMBIENTE**

**5.1.3.1 Características del contexto urbano existente.** Del reconocimiento en 4.1.3.5 surgirá una ficha, y ocasionalmente una monografía, que resumirá y graficará, respectivamente, tales características. La primera deberá ser producida en un momento temprano del estudio, para que sirva a la generación de alternativas; la monografía podrá ser hecha en el mismo momento o una vez seleccionados los prediseños a desarrollar, si el grado de intervención de éstos sobre el entorno urbano lo amerita.

**5.1.3.2 Ficha preliminar.** Las tareas de recolección de información en terreno y organismos municipales deberán producir datos útiles para ilustrar, en una primera instancia (selección de alternativas) las características urbanísticas y ambientales de la zona de referencia, y para sopesar las consecuencias que las ideas planteadas pudieran tener sobre tales aspectos (ver 11.1.2.3.a). Deberá considerarse que las calles y vías de una ciudad cumplen, junto con la función de configurar un componente de la infraestructura de transporte, el rol de espacios públicos urbanos. Como tales, constituyen también lugares de paseo, esparcimiento y encuentro. Las obras viales, cuando implican transformaciones de la plataforma pública, pueden llevar asociados cambios en la forma en que esas actividades se cumplen; por ejemplo, en la dimensión o conformación de espacios ubicados frente a una iglesia, un teatro o un edificio con gran afluencia de público. Estas transformaciones, que pueden tener signo positivo o negativo, deberán ser identificadas y descritas. Las características que por su naturaleza no puedan ser representadas cabalmente en la ficha, deberán ser descritas en la memoria (ejemplos: iluminación y niveles de ruido).

**5.1.3.3 Monografía.** Cuando se prevea que las alternativas de prediseño van a producir un impacto significativo sobre el ambiente, o cuando el área de referencia del estudio contenga valores urbanísticos excepcionales que parezcan susceptibles a los cambios imaginados de la plataforma vial, se deberá producir una monografía de las características del entorno urbano donde se localiza el estudio. Esta monografía deberá considerar los siguientes puntos.

**a) Contexto urbano.** Se deberá localizar el proyecto, cartográficamente, en el contexto de la red vial primaria de la ciudad o de la comuna que lo acoja, identificando además los puntos singulares del entorno urbano que puedan incidir en su operación, por constituir centros importantes de la atracción o generación de viajes.

**b) Uso del suelo predominante.** Se deberá localizar el uso del suelo en el área adyacente, distinguiendo al menos lo siguiente: vivienda, equipamiento, industria y almacenamiento, y áreas verdes. Dado que dentro de la categoría equipamiento se incluyen los edificios destinados a salud, educación, comercio, culto, deportes y servicios en general, la importancia particular de algunos de ellos deberá ser identificada y localizada.

**c) Aspectos normativos.** La edificación de los predios particulares y las características de las vías, además de otras disposiciones reglamentarias, están reguladas por las normas contenidas en la Ley General de Urbanismo y Construcciones (D.S. MINVU N2 458 del 13.04.76) y por la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización (D.S. MOP N2 884 del 10.09.49). Para los efectos de los estudios de vialidad urbana tienen particular importancia los Planes Reguladores Comunales, aprobados en virtud de las disposiciones antes citadas, en especial lo que dichos planes establecen con respecto a declaración de utilidad pública de terrenos destinados a parques, calles nuevas o ensanche de las existentes, las que deberán identificarse cuando existan y localizarse oportunamente en la monografía.

## **5.1.4 INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO**

**5.1.4.1 Generalidades.** La información básica inicial a proveer en esta etapa, en relación a infraestructura y equipamiento, se desglosa en tres áreas: Redes de Servicios Públicos, Tránsito y Firmes. La identificación de todos estos elementos urbanos deberá realizarse 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. 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.

**5.1.4.2 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.

**a) Primera etapa de recolección de información.** En esta etapa se deberá 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 complementará 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 (ver 11.1.2.4.a). 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.

**b) Segunda etapa de recolección de información.** Esta segunda etapa se iniciará una vez decididos el o los prediseños que será(n) objeto de anteproyecto. Si las interferencias entre los servicios y la vialidad disecada provocan cambios en el trazado de las redes, se deberá incorporar a la monografía (11.1.2.4.a) 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.

**5.1.4.3 Canales.** La presencia de canales puede ser por lo general confirmada mediante un recorrido detallado del terreno. Se distinguirán canales abiertos y entubados.

**a) Primera etapa de recolección de información.** 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 segundo caso -canales entubados- se deberá tratar de identificar su trazado en planta, junto con el resto de sus elementos constitutivos. Unos y otros deben ser reflejados en la monografía de aguas lluvias y aguas servidas (ver 11.1.2.4.a), salvo que se demuestre la conveniencia de generar una específica para estos servicios.

**b) Segunda etapa de recolección de información.** En la etapa de anteproyecto, dependiendo de si existe interferencia con la o las soluciones 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 pretiles, 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.

**5.1.4.4 Electrificación y teléfonos.** Ambos 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 o baja tensión), presencia de transformadores, tipo de luminarias (sodio, mercurio, etc). Se usará 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 en esta etapa con establecer su ubicación. Se confeccionará una monografía de ambos servicios (ver 11.1.2.4.a).

**5.1.4.5 Red de gas.** La información relativa a ubicación y características de la red de gas existente en el área de estudio se gestionará mediante una solicitud formal a la compañía responsable de dicho servicio. La información obtenida por este procedimiento se incluirá en una monografía específica para este servicio (ver 11.1.2.4.a).

**5.1.4.6 Tránsito.** Una vez producida la planimetría, se deberá visitar el terreno con el fin de recoger la información relativa a aspectos de tránsito y situar sobre aquella las singularidades del caso. Esta tarea dará lugar a una Monografía de Tránsito (ver 11.1.2.4.b).

**5.1.4.7 Pavimentos y revestimientos.** La información básica relativa a los pavimentos en el área del estudio se deberá obtener a partir de una inspección visual en terreno, la cual permitirá llenar una o más fichas como la consignada en la Tabla 11.1.2 (111). En caso que los prediseños aprovechen pavimentos y revestimientos existentes en buen estado, se deberá completar esta ficha con una monografía de firmes, soleras y revestimientos (ver 11.1.2.4.c).

## **5.1.5 MECANICA DE SUELOS**

**5.1.5.1 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.

**5.1.5.2 Niveles de detalle.** La 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 decididos el o los prediseños a anteproyectar, se complementará dicha información con un programa de muestreos y ensayos, condicionado por las características de éstos, según se describe en los párrafos siguientes.

**5.1.5.3 Programa de reconocimiento.** El reconocimiento de suelo se efectuará en base a calicatas, cuya extensión y profundidad dependerá de la homogeneidad del suelo que conforma la subrasante o el suelo de fundación de las estructuras. A pesar de esto, en el primer caso se efectuará como mínimo una calicata cada 1000 m<sup>2</sup> de pavimentos nuevos de al menos 1.50 m. de profundidad. En el segundo caso, será necesario efectuar una calicata por estructura, que alcance al menos la profundidad de fundación estimada por el especialista.

**5.1.5.4 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.

**5.1.5.5 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 (NCh, AASHTO y ASTM) 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.

## SECCION 5.2. DATOS DE TRANSITO

### 5.2.1 GENERALIDADES

**5.2.1.1 Introducción.** Dos características, relacionadas entre ellas, son importantes para la metodología de recolección de antecedentes de tránsito. La primera es muy simple: este tipo de recolección puede ser muy caro; la segunda es más sutil, pero no menos relevante en sus implicaciones: casi todas las características de tránsito están sujetas no sólo a variaciones sistemáticas según la hora del día, semana y año, sino también a variaciones estocásticas (y a menudo grandes). Estos dos aspectos en conjunto, son cruciales para realizar la toma de datos de tránsito en debida forma. La siguiente secuencia sencilla de preguntas es importante para abordar el tema adecuadamente:

- para qué propósito se requiere la información
- cuán exactamente podrá ser usada la información para conseguir el propósito
- cuán exactamente puede ser recogida la información

En las situaciones más simples, se podrá contestar la secuencia de preguntas muy fácilmente. Sin embargo, en muchos casos, la segunda pregunta cuestiona y retroalimenta a la primera, y la tercera frecuentemente altera la formulación de las respuestas a las dos anteriores. Esto significa que, en general, se requerirá un proceso con retroalimentación entre el Propósito Y los métodos correspondientes para conseguirlo, sujetos al presupuesto disponible.

**a) El proceso iterativo.** La clave para este proceso iterativo de recolección de antecedentes de tránsito es la comprensión de las fuentes de variación sistemáticas y aleatorias, en los parámetros a medir, y por lo tanto en los resultados de cualquier procesamiento hecho a partir de los datos recogidos. Una forma de expresar y verificar que esa comprensión sea real, consiste en escribir directamente la secuencia de acciones a que va a ser sometida la información desde su recolección hasta el resultado que se obtendrá después de estimaciones y cálculos. Una labor como la anterior puede servir en cada caso

concreto para identificar las fuentes de sesgo, y para establecer como surgen desde éstas las variaciones aleatorias de los resultados finales.

**b) Variaciones de las mediciones.** El sesgo en las mediciones aparece cuando alguna característica del proceso estudiado trae como consecuencia que las observaciones recolectadas sean poco representativas del universo o población. Por ejemplo, si un detector de vehículos registra todas las pasadas de vehículos motorizados, pero sólo logra detectar el 50% de las bicicletas, indudablemente subestimaré el flujo total de vehículos en la proporción en que éste es influido por las bicicletas. Cuando una fuente de sesgo puede ser identificada, es a menudo posible elaborar un procedimiento analítico para corregir el error. Por otra parte, la variación estocástica en estimaciones hechas a partir de observaciones, no depende solamente de la variación estocástica en los parámetros que se observaron sino también de; número de observaciones realizadas. Si el grado de variación estocástica y cualquier otra aleatoriedad son conocidas, entonces el tamaño de la muestra y la forma en que ella debe ser tomada a fin de obtener un cierto grado de precisión, pueden calcularse.

**c) Consideraciones finales.** El diseño de toma de datos de tránsito requiere un buen grado de conocimiento previo de cuales, y como, pueden ser los resultados que se obtendrán. Así, interesa conocer la magnitud de la variación estocástica en el parámetro a medir, o la probabilidad de error en que se puede incurrir durante la recolección de los datos. Hay dos fuentes principales de conocimiento previo: experiencia con trabajos anteriores del mismo tipo (en que se haya recolectado información semejante en condiciones similares), y la realización de estudios pilotos, en una escala mucho menor que el trabajo mismo de recolección.

**5.2.1.2 Métodos.** Las primeras recolecciones de datos de tránsito se realizaban con observadores que anotaban los eventos a mano y el tiempo con cronómetros. En la actualidad se cuenta con equipamiento poderoso, suministrado por el desarrollo de los microprocesadores, que permiten recoger datos de tránsito con gran precisión, a costos mucho más bajos y en mucho mayor cantidad. Sin embargo, a pesar de la oferta que hay de dichos equipos, no es corriente contar con ellos, y los métodos manuales siguen todavía con

gran vigencia, al menos en algunos campos donde es difícil sino imposible reemplazar a la versatilidad, flexibilidad y capacidad de distinguir eventos sutiles que es propia de los seres humanos.

**a) Métodos manuales.** En general estos métodos son apropiados en situaciones en que se requiere gran precisión. La clasificación de vehículos, la estimación de factores de ocupación, los diferentes movimientos en intersecciones tanto semaforizadas como prioritarias, la medición de flujos de saturación, son mejor recogidos si se realizan manualmente. Por eso mismo, son más costosos, y debe concentrarse su uso a situaciones donde no se deba medir por demasiadas horas sino sólo tomar muestras representativas. Los métodos manuales emplean obviamente equipo, a veces de gran sofisticación, para facilitar su labor.

**b) Métodos automáticos.** Para situaciones de recolección intensiva, de grandes cantidades de datos, ya sea porque se trata de volúmenes muy grandes de antecedentes, o porque comprende periodos muy prolongados o extensos de recolección, es recomendable el empleo de métodos automáticos. El monitoreo de perfiles de flujo diarios sobre ejes arteriales, o el monitoreo para la estimación de matrices origen-destino de viajes, así como la recolección de antecedentes intensivos sobre tiempos de viaje o situaciones en que junto al evento es necesario tener el instante en que ocurrió, son ejemplos en que obviamente los métodos automáticos son más recomendables.

**c) Equipos.** Los equipos más usuales para la recolección de información de tránsito son los siguientes:

- contadores manuales de flujos o “tally-counters”, los cuales se presentan normalmente en forma de baterías de cuatro o cinco contadores simultáneamente.
- grabadoras de casete, para el registro de eventos dictados oralmente a la grabadora. Son útiles en la determinación de matrices origen-destino de viajes. El procesamiento posterior de la información es, sin embargo, bastante costoso y tedioso.

- grabadoras de video simples, sirven para recolectar las condiciones de operación de las zonas de estudio. Pueden ser empleadas también posteriormente para reproducir en laboratorio en forma lenta la realidad y poder estimar y medir, en forma manual y con cuidado, indicadores como flujos de saturación o formación de colas en intersecciones; sin embargo, en este caso el procesamiento puede ser costoso.
- grabadoras con tiempo de ocurrencia de los eventos incorporado; son más útiles que las anteriores y más apropiadas para la recolección de datos de tránsito. La medición de flujos de saturación se ve enormemente beneficiada con este tipo de grabaciones, así como la estimación de porcentajes de vehículos de locomoción colectiva que se detienen en paraderos y de tiempos promedio de estadía en paraderos.
- microcomputadores de terreno, en formato manuable. Existen de diferentes marcas en el mercado. Son apropiados para recoger datos en que el evento y el tiempo de ocurrencia es importante: tiempos de viaje a través del método de las patentes, y medición de flujos de saturación en laboratorio a partir de los datos filmados con grabadoras de video. También son útiles en la recolección intensiva de patentes para determinar matrices origen-destino de viajes.
- registradores de eventos en recorridos (“Journey Event Recorders”), que son microcomputadores más especializados para la recolección de datos de tránsito, ya que permiten recoger el tiempo, la distancia y el evento. Acoplados y debidamente calibrados en un vehículo, permiten recoger y reproducir posteriormente, los tiempos de viaje y distancias recorridas, eliminando efectos no deseados a través del registro de sucesos imprevistos que podrían distorsionar una medición del mismo tipo realizada en forma manual sobre un vehículo (detenciones extras, o prolongadas por causas fortuitas, efectos de los semáforos que se prolongan más de lo normal o de lo estimado en estudios pilotos, etc.).
- contadores automáticos de tránsito (“Marksman”), ya sea que recojan los datos de flujos por medio de tubos neumáticos o por espiras inductivas colocadas sobre las vías. Estos contadores deben contar con equipamiento complementario de recogedores (“retrievers”) que permitan posteriormente procesar los datos. Son apropiados para la recolección intensiva de flujos en ejes arteriales durante largos

períodos, ya sea para determinar la periodización, o para monitorear la medición de matrices de origen - destino de viajes.

**d) Decisión sobre equipos.** No existe una recomendación única sobre el mejor equipo a emplear, ni sobre el método más apropiado. Sin embargo es posible hacer un balance entre el empleo de equipos para la recolección en terreno y la mano del hombre para un procesamiento más afinado a posteriori (con posibilidad de repetir el experimento si es posible). En general para la medición de muchos parámetros (flujos de saturación, vehículos equivalentes, retardo inicial y ganancia final en intersecciones semaforizadas, extensión de colas) la mezcla de equipo con la intervención de un especialista es mucho más útil y provechosa que la medición directa manual con observadores que no necesariamente tienen la capacidad de discernir sobre la marcha acerca de la calidad o tipo del evento que están midiendo.

**5.2.1.3 Diseño muestras.** Las consideraciones estadísticas sobre el diseño muestral pueden encontrarse en cualquier texto de Estadística, por ejemplo en Wonnacott y Wonnacott,(1984). A continuación se resumen las principales características al respecto:

**a) Muestra y población.** Se define como población al grupo completo para el cual se desea recolectar información; por ejemplo - todos los tiempos de recorrido de los vehículos que componen un flujo.

Se define como muestra a una colección de unidades que constituye una proporción de la población, y que es seleccionada para representar a la población total.

**b) Métodos de muestreo.** Básicamente se emplean en problemas de tráfico dos métodos:

- muestreo aleatorio simple, que no sólo es el método más sencillo sino que constituye la base de los restantes; consiste en asociar un número identificador a cada unidad en la población y luego estos números se seleccionan al azar para obtener la muestra, y

- muestreo aleatorio estratificado, en que se utiliza información a-priori para subdividir la población en estratos de forma que las unidades al interior de cada uno sean tan homogéneas como sea posible respecto a la variable estratificadora, y luego se muestrea aleatoriamente en cada estrato ocupando la misma fracción muestral.

**c) Error muestral y sesgo muestral.** Son los dos tipos de error en que se puede incurrir al tomar una muestra y que, al combinarse, contribuyen al error de medición de los datos muestrales. El primero surge simplemente porque se está tratando con una muestra y no con la población total; esto es, va a estar siempre presente debido a factores aleatorios. Sin embargo, el error muestral no afecta los valores esperados de los promedios de los parámetros estimados; sólo afecta la variabilidad alrededor suyo y determina el grado de confianza que se puede asociar a estos promedios. Este tipo de error es fundamentalmente una función del tamaño de la muestra y de la variabilidad inherente al parámetro investigado.

El sesgo muestral, en cambio, surge debido a equivocaciones cometidas al definir la población de interés, al seleccionar el método de muestreo, la técnica de recolección o en muchas otras fases del proceso.

**d) Tamaño muestral.** No existe un tamaño único para una muestra. La magnitud surge de un compromiso entre el grado de precisión que se desea y el costo que involucro el grado de precisión deseado.

Para la determinación del tamaño muestral, una recomendación simplificada está dada por las fórmulas siguientes:

$$n = n' / (1 + n' / N) \quad (5.2.1 - 1)$$

con

$n$  = tamaño.

$n' = 384(CV)^2$ .

$N$  = tamaño de la población finita. Si  $N$  es muy grande  $n' = n$ .

$CV$  = coeficiente de variación esperado de los datos =  $\sigma / \mu$ .

$\sigma$  = desviación estándar esperada de la población,

$\mu$  = media esperada de la población.

Como el  $CV$  no es posible estimarlo antes de la muestra, puede obtenerse por analogía de situaciones similares anteriores.

La fórmula 5.2.1-1 es válida para un nivel de confianza del 95% y un error del 10% y una distribución normal del parámetro involucrado. Para más detalles, en otras situaciones, puede consultarse textos de Estadística al respecto.

**c) Obtención de la muestra.** La última etapa del proceso de muestreo es la extracción misma de la muestra. En algunos casos el procedimiento puede ser fácilmente automatizado, ya sea en terreno o en la oficina (en cuyo caso se debe tener cuidado con que el procedimiento sea efectivamente seguido en terreno), pero siempre debe hacerse con referencia a un proceso aleatorio. A pesar de que los únicos procesos realmente aleatorios son de tipo físico, generalmente son demasiado consumidores de tiempo, por esto generalmente se recurre a algún proceso pseudos--aleatorio que genere de forma rápida y fácil un conjunto de números aleatorios para utilizar en el muestreo.

**f) Aleatoriedad en el tiempo.** La mayoría de los problemas de toma de muestras que se discuten en los acápites siguientes, consideran recolección de datos en periodos de una hora. A fin de obtener muestras insesgadas, también es importante distribuir las observaciones en estos periodos de forma aleatoria; para esto es conveniente dividirlos en, por ejemplo, 12 periodos de cinco minutos y dependiendo del número esperado de observaciones que se puedan realizar en cada subperiodo, se puede decidir cuántos se necesitan, y cuáles se eligen, utilizando una tabla de números aleatorios.

## 5.2.2 CONTEOS DE FLUJOS

**5.2.2.1 Flujos vehiculares.** Los conteos de flujos vehiculares buscan contestar varias preguntas: volúmenes, tipos de vehículos y movimientos a los que pertenecen estos parámetros. Básicamente hay dos maneras de realizar esta tarea: en forma manual o por medios automáticos.

**a) Mediciones automáticas.** Estas se realizan sobre ejes arteriales, y no permiten distinguir con precisión los tipos de vehículos. Son apropiadas para situaciones en las cuales interesa registrar durante largos periodos de medición, los flujos circulantes. No es posible distinguir movimientos, es decir los destinos de los flujos tratándose de una Intersección. Entre los instrumentos a utilizar se encuentran los “clasificadores”, que pueden distinguir automáticamente entre tres y cinco distintos tipos de vehículos por sus longitudes. Desgraciadamente para los efectos del presente manual, la desagregación por longitudes es absolutamente inadecuada, porque no es posible distinguir camiones de buses, y como se trata de rangos de longitudes, tampoco es posible distinguir entre taxibuses y microbuses o entre buses urbanos e interurbanos. Dadas las características especiales de este tipo de mediciones, conviene colocar las espiras inductivas a mitad de cuadra y no en las esquinas. Los manuales de empleo de este tipo de equipo, detallan las formas más apropiadas de organización de las espiras que se requieren así como las y características técnicas de los materiales más aptos para su implantación en terreno. En el caso de conteos automáticos, es preciso realizar clasificaciones manuales de vehículos según las desagregaciones que se requieran en cada estudio, y que han sido especificadas en los capítulos correspondientes del presente Manual. Estas agrupaciones suponen que la muestra sea tomada para un periodo de una hora representativa, a lo menos durante dos cuartos de hora no consecutivos. En lo posible debería contarse con información previa de conteos intensivos en áreas similares o en el mismo eje a fin de permitir eliminar los ruidos que puedan aparecer en el posterior procesamiento computacional. Para éste, existe software asociado a cada tipo de equipos, aunque también puede diseñarse software ad-hoc según los requerimientos del estudio.

**b) Conteos manuales.** Los conteos manuales son más apropiados en intersecciones.

Aparte del hecho que la clasificación se hace automáticamente, cuando se contea, es importante tomar en cuenta las siguientes características:

- los conteos deben subdividirse en periodos de 15 minutos.
- un observador no debiera contar más de 400 vehículos por hora; para esto es necesario estimar previamente el orden de magnitud de los volúmenes a medir, a través de un pequeño muestreo en horas aparentemente más cargadas del día. Cuando se disponga de varios observadores para realizar la medición, es recomendable especializarlos por pista o por tipo de vehículo, en el caso de altos porcentajes de locomoción colectiva;
- antes de enviar observadores a terreno, debe verificarse a través de conteos simulados la forma del material a usar: papel que se pliegue fácilmente, tamaño apropiado y conveniente, y debe darse obviamente entrenamiento adecuado a los observadores que se envía a terreno. El tiempo consumido en capacitación debiera considerarse siempre como bien invertido porque elimina muchos costos posteriores de repeticiones costosas y no siempre fiables. El entregar asimismo antecedentes sobre los objetivos del trabajo a realizar y la importancia de la labor a realizar, es una tarea extremadamente útil para que el personal rinda con más eficiencia y precisión en su trabajo;
- es necesario contar con al menos un supervisor cada quince observadores. Este se encargará no sólo de la capacitación detallada del personal, sino que deberá llevar la bitácora del trabajo en terreno. Dicha bitácora permitirá detectar posteriormente las causas de anomalías observadas cuando se procese la información, y eliminar así los errores cometidos. La provisión de un 5% de personal extra, para suplir los casos de personal que se atrasa, sobre todo en los primeros días de recolección, así como el de personas que no logran llegar a terreno por diversos problemas, es también aconsejable;
- cada formulario de recolección de datos de flujos manuales debe contener un conjunto claro de instrucciones precisas para que el observador pueda tener

contestada cualquier duda sobre su trabajo. Aspectos tales como lugar, día, hora, tamaño mínimo de la muestra (en caso que sea muestra), oportunidad de ésta, el método de llenado de los formularios, etc., deben entregarse por escrito a los observadores;

- es recomendable efectuar las mediciones a las salidas de las intersecciones a fin de detectar los movimientos o diferentes destinos de los flujos. Sin embargo, cuando se observen colas que no se disipan completamente durante el verde, se debe cambiar la localización de los lugares de medición desde la línea de parada hacia algún lugar aguas arriba que permita detectar la real demanda de; arco en cuestión, y no la oferta que está saliendo a tasa máxima desde la línea de parada. Como norma, si los vehículos deben esperar durante más de un rojo frente al semáforo, es conveniente realizar las mediciones aguas arriba. Sin embargo, las clasificaciones de los diferentes movimientos deben realizarse siempre en la línea de parada; en este caso los valores obtenidos se tomarán sólo como una indicación porcentual de la demanda, que se deberá aplicar sobre la demanda real medida aguas arriba;
- es aceptable, cuando los conteos cubren un área de cierta extensión, no medir algunos flujos y obtenerlos por continuidad. Esto, sin embargo, sólo debe hacerse para flujos de magnitud considerable y que no hagan virajes en una intersección;
- los periodos durante los cuales se debe recoger la información están determinados por el tipo de proyecto, según se definió en el Capítulo 2 del presente Manual.

**5.2.2.2 Flujos Peatonales.** En estos casos, aparte de la grabación con video desde la altura, la cual no es fácil de obtener, el método más usual es medir los flujos en dos sentidos durante las horas representativas de los periodos seleccionados en los cruces peatonales de las esquinas. Al contrario de los flujos vehiculares, en que se mide siempre según sentido, en el caso peatonal éste no importa, porque los flujos están entremezclados en la mayoría de los casos. No se presenta tampoco acá el fenómeno de saturación de los flujos vehiculares, ya que la oferta de espacio vial, salvo escasas ocasiones, es ilimitada para los peatones (sujeto obviamente a las restricciones operacionales de los mecanismos de control de las intersecciones). Una clasificación del tipo de peatón es también Útil, ya que los niños y ancianos tienen velocidades de desplazamiento diferentes a las de los adultos, y esa

tipología podría tener incidencia en el diseño de los esquemas. En general es conveniente tener indicadores de peatones por minuto y de peatones por hora.

### 5.2.3 ENCUESTAS ORIGEN-DESTINO

**5.2.3.1 Preliminares.** Las encuestas origen-destino de viajes son necesarias cuando se estudian proyectos en los cuales habrá reasignación de flujos. La técnica más conocida y empleada es el método de las patentes. Sin embargo, este método tiene sesgos, muchas veces inadvertidas para el no especialista. Las consideraciones que siguen describen por una parte algunas metodologías alternativas, y presentan herramientas que pueden ser utilizadas para paliar los sesgos inherentes al método.

**5.2.3.2 Tipos de encuestas origen-destino.** Los siguientes tipos de encuestas son los más conocidos:

**a) Método de las patentes.** Este método consiste básicamente en ubicar observadores a la orilla de la vía, en todas las entradas y salidas del área de estudio, a fin de que anoten el número de la patente (y a veces el tiempo de pasada) de cada vehículo. Las rutas seguidas por los vehículos pueden ser posteriormente deducidas al hacer calzar los números de las patentes. Esta técnica es apropiada para seguir los desplazamientos del tránsito en situaciones caracterizadas por un gran número de orígenes Y destinos enlazados por una sistema de calles complejo. La gran desventaja del método es que se requiere un gran esfuerzo para el análisis y procesamiento de los datos, similar a los métodos de la entrevista en la calle y de las respuestas postales, que se describirán más adelante.

**b) Encuesta en la vía.** Los vehículos son detenidos a la entrada del cordón de estudio respectivo y se les hace un conjunto de preguntas predeterminadas acerca de su viaje (destino, propósito). Es útil para obtener información que no sea fácil de obtener por observación directa. Sin embargo debe ser muy corta, precisa, y no sujeta a interpretaciones por parte del entrevistador y el entrevistado. Presenta gran problema en las avenidas arteriales con muchas pistas, porque se puede producir un sesgo en los vehículos que son detenidos (aquellos más cercanos a la acera o a la mediana que es donde se colocan los entrevistadores). Su procesamiento es fácil y directo.

**c) Método del ticket.** A los vehículos muestreados en las entradas, se les coloca simplemente un ticket de color determinado. En la salida del cordón de estudio, el color permite identificar la entrada. Una técnica semejante se ha empleado en algunos países donde al conductor se le entrega un ticket con un número y debe devolverlo a la salida. Obviamente en países con poco espíritu cívico es muy difícil obtener un cumplimiento del sistema a la salida. Solo en el caso de peatones a la entrada o salida del Metro es posible conseguir un grado de respuesta aceptable con este tipo de encuestas. En redes pequeñas y no muy saturadas puede ser de utilidad.

**5.2.3.3 Recomendaciones para el método de las patentes.** Como el método de las patentes es el más usual, es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

**a) Localización del cordón.** Una convención, aunque no obligatoria, consiste en acordar el área de estudio. Mediante una acertada selección de éste, como se muestra en la Figura 5.2.3 (1), se puede observar claramente como es posible ahorrar innumerables estaciones con observadores. La realidad obviamente no será nunca tan fácil como el ejemplo anterior, pero señala en todo caso la orientación que debe tener la selección del cordón. Otro típico error se puede observar en la Fig. 5.2.3 (II), donde un viaje externo puede ser interpretado (si se coloca el cordón C) como viaje interno entre X e Y. La ubicación del cordón D, según ese diagrama, soluciona obviamente ese problema. En segundo lugar es conveniente distinguir, cuando es posible, los movimientos en las estaciones del cordón, como se ilustra en la Fig. 5.2.3 (III). No es un procedimiento más costoso y provee información adicional muy valiosa. En tercer lugar es útil colocar, aparte del cordón, algunas estaciones intermedias que permitan tomar las rutas alternativas por donde se reparten los flujos, cuando hay varios caminos alternativos, como se muestra en la Fig. 5.2.3 (IV). Finalmente, cuando se selecciona los puntos del cordón, es recomendable evitar el recoger datos sobre movimientos que son absolutamente irrelevantes para el problema en estudio.

**b) Tiempo de realización.** Debe ser decidido según las recomendaciones del Capítulo 2 sobre periodización. En todo caso este tiempo debe tomar en cuenta la

diferencia que existe entre las entradas y salidas, a fin de evitar los periodos inútiles en que no habrá pareamiento de patentes, tal como se ilustra en la Fig. 5.2.3 (V). No es conveniente particionar en intervalos de 15 minutos por el desfase antes mencionado entre entradas y salidas. El intervalo mínimo debe ser de media hora, aunque un período de recolección de una hora sin intervalos es lo más recomendable.

**e) Forma de muestrear.** Generalmente se escoge un porcentaje que varía entre el 20 y el 50 por ciento de los vehículos, tomando, por ejemplo, sólo las patentes que terminan en 1 y 2. Sin embargo, la práctica y algunos estudios realizados en Chile y Australia (Coeymans, 1986; Taylor, 1984) indican que además es recomendable registrar los cuatro últimos dígitos de las patentes, siendo éste un compromiso entre registrar todas las características, pero menos patentes (y no tener error o duplicación en el apareamiento de números) y registrar pocos dígitos, con un gran número de vehículos, pero con errores mayores de duplicación. Es asimismo recomendable que el encuestador solamente se encargue de una dirección de movimiento, porque la posibilidad de error al hacerlo en dos direcciones, puede aumentar mucho si no se cuenta con personal altamente calificado.

**d) Empleo de equipo.** Para el caso de calles con poco flujo, se recomienda realizar la encuesta en forma manual, con hoja, papel y cronómetro (si se quiere aprovechar de medir tiempos de travesía entre origen y destino). En calles con flujos mayores pueden emplearse grabadoras, las cuales sin embargo, por problemas de las fuentes de energía, presentan diferentes velocidades en la grabación que en la reproducción en laboratorio; en este caso, debe registrarse no solo el número de la patente, sino también cada cierto tiempo (un minuto) la hora en que se está grabando. Si los flujos lo permiten, podría agregarse calidad a la información registrada a través de la grabación del tiempo de pasada de cada vehículo. El empleo de microcomputadores que incorporan en forma automática el tiempo de pasada, y en que sólo se inyectan los números con un dígito que individualice si se trata de un auto, un bus u otro vehículo, se recomienda encarecidamente para el caso de grandes flujos vehiculares. Las recomendaciones para observadores de conteos de flujos se repiten también en este caso, con el agravante que por tratarse de sostener un pequeño equipo, la necesidad de sillas plegables es absoluta. El empleo de dos personas por punto ayuda

enormemente en este caso, ya que uno dicta el número y el instante de pasada y el otro observador simplemente se concentra a registrar debidamente los datos en el microcomputador.

**e) Factores de corrección.** La amplificación de los flujos recogidos en una entrada o salida, por el porcentaje de vehículos que se muestreó, lleva a una subestimación de los reales flujos que pasaron por los puntos de control. La razón principal para esto, es que por más entrenados que estén los observadores, siempre pierden vehículos; basta que dos de ellos que podrían ser muestreados pasen simultáneamente, para que uno se pierda por el problema de tiempo de digitación de los datos. A fin de corregir lo anterior, es importante que en cada hora de muestreo los supervisores a su vez muestreen a los encuestadores, para determinar la tasa de captación que están teniendo en su tarea; esto permitirá introducir las correcciones de caso a la muestra seleccionada así, si designamos por  $A_p$  y  $A_q$  las probabilidades (o tasas de captación) que los observadores en P y Q (punto de entrada y salida respectivamente) registren correctamente la muestra, y si designamos por S al número de patentes pareadas, por R el porcentaje de la muestra, y por T el número total de viajes entre P y Q, entonces este último estará dado por la expresión:

$$T = \frac{S}{(RA_p A_q)} \quad (5.2.3 - 1)$$

**f) Procesamiento.** Cualquiera sea la metodología que se emplee, manual, con grabadoras (que también tiene una etapa manual de digitación de los datos) o computacional, es conveniente que se procese la información en forma computacional, dadas las características de este tipo de trabajos; para esto existen varios programas en el mercado. El procesamiento computacional se traduce en mayor rapidez y economía de horas hombre (sobre todo si se trata de generar tiempos de viaje entre entradas y salidas), y en la posibilidad de tener accesible la información para otros cómputos analíticos, estadísticos y/o gráficos.

**g) Consideraciones estadísticas.** En el caso de encuestas en cordón, se puede considerar que los viajes  $V_{ij}$  se distribuyen Binomial con:

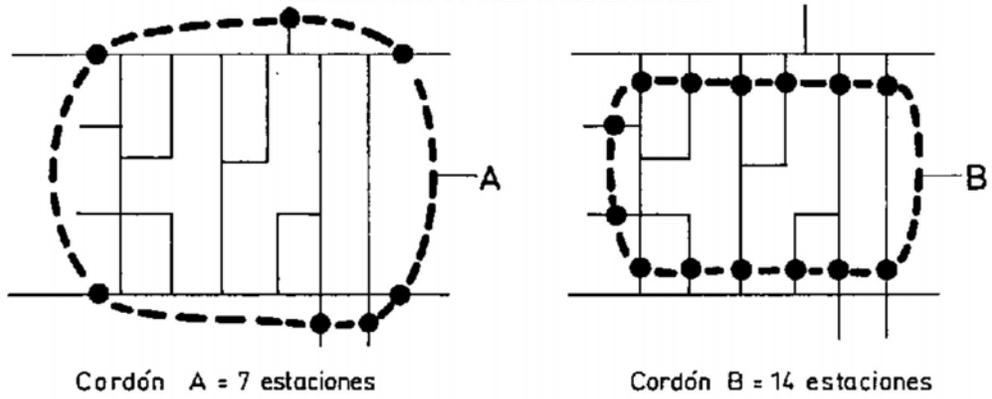
$$V_{ij} \approx B(n, P_{ij})$$

en que  $n$  es el número de observaciones en un acceso  $i$  cualquiera al cordón, y  $P_{ij} = V_{ij} / O_i$  es la proporción de viajes que entran por ese acceso ( $O_i$ ) y que van a la zona  $j$  (interna o externa al cordón). Un buen estimador para esta proporción es  $p_{ij}$ , dado por  $v_{ij}/n$  en que  $v_{ij}$  es el número de viajes en la muestra  $n$  que van a  $i$ . Para valores de  $n$  mayores que 30 y proporciones  $n / O_i$  pequeñas (menores que 15%) se puede suponer que los  $p$  se distribuyen aproximadamente Normal con media  $P_{ij}$  y varianza  $p_{ij}(1 - p_{ij})/n$ ; con esto el error máximo de  $P_{ij}$  para un 95% de confianza se puede estimar como:

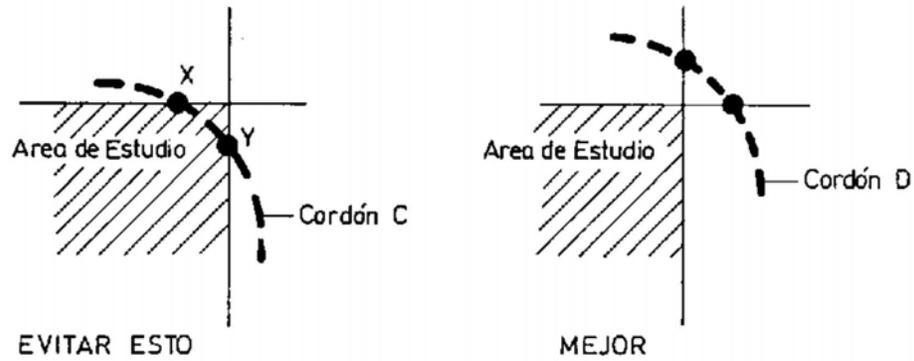
$$\varepsilon = 1,96[p(1 - p) / n]^{1/2} \quad (5.2.3 - 2)$$

Si se fija  $e$  en 10% y se toma el valor máximo posible de  $p(1 - p)$ , que es  $1/4$ , se puede ver que el  $n$  requerido es 96 observaciones en cada acceso al cordón; es importante señalar que si el flujo de entrada es inferior a 640 vehículos, la cifra 96 podría llegar a constituir un porcentaje superior al 15% lo que invalidarla algunos de los supuestos de este análisis. Por esto es preferible postular una política del tipo “encuestar al 10% del flujo que entra en cada acceso”, en cuyo caso puede suceder que se obtengan menos de 96 observaciones en algunos accesos; si esto ocurre, sencillamente los valores estimados para  $P_{ij}$  desde ese origen tendrán un error superior que se puede estimar mediante la ecuación (5.2.1-7). Para obtener los valores estimados de  $V_{ij}$ , sencillamente se debe multiplicar  $O_i$  por  $p_{ij}$ .

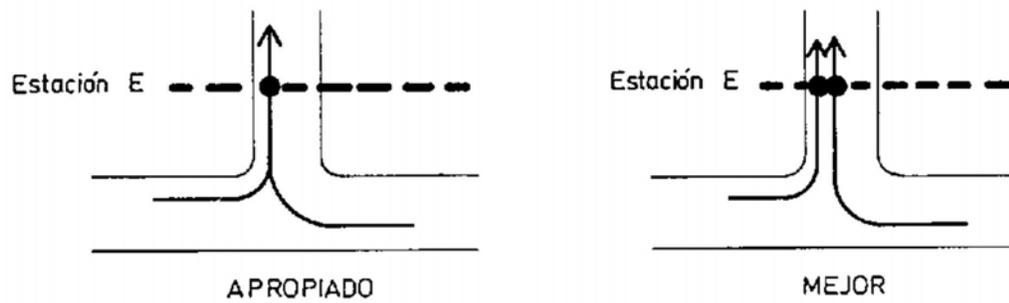
**FIGURA 5.2.3(I)**  
**LOCALIZACION DE CORDONES**



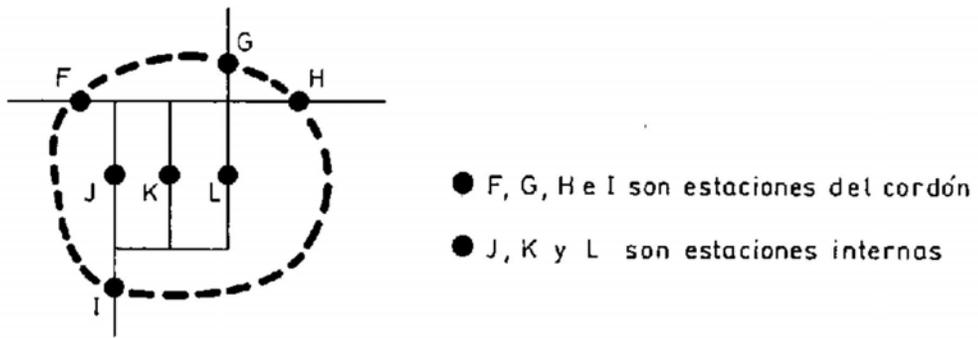
**FIGURA 5.2.3(II)**  
**CORDONES CERCA DE LAS ESQUINAS**



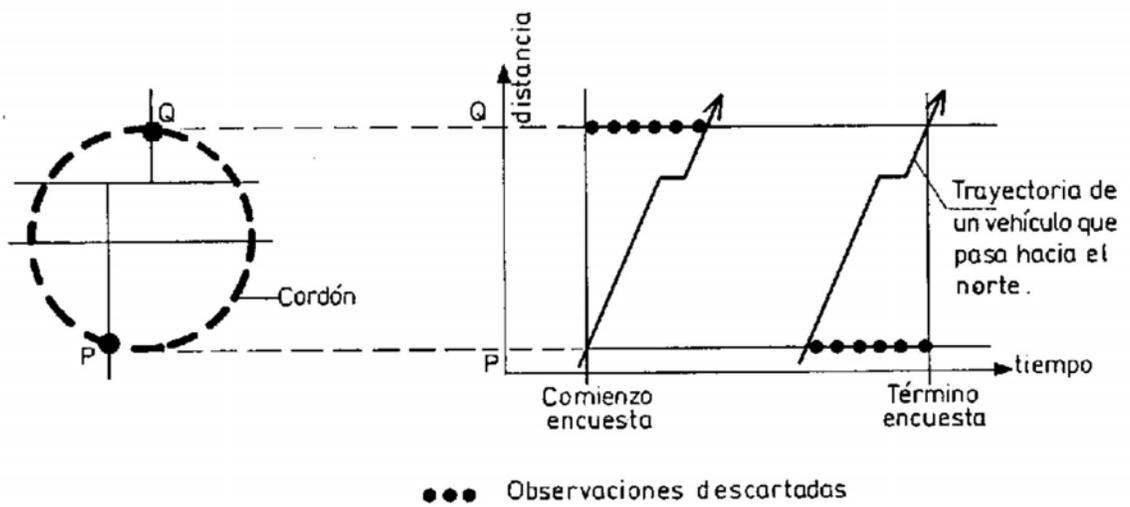
**FIGURA 5.2.3(III)**  
**REGISTRAR MOVIMIENTOS SEPARADAMENTE**



**FIGURA 5.2.3(IV)**  
**ARREGLO DE CORDON TIPICO**



**FIGURA 5.2.3(V)**  
**ERRORES AL COMIENZO Y AL FINAL**



## 5.2.4 TASAS DE OCUPACION

**5.2.4.1 Vehículos de locomoción colectiva.** La obtención de tasas de ocupación en este caso presenta dificultades especiales, por la imposibilidad físico-temporal de poder contar las personas que ocupan cada vehículo muestreado.

**a) Metodología.** Frente al lugar donde se recolectarán los datos, definido con anterioridad según las pautas del Capítulo 2, el observador registra la situación de ocupación del vehículo (taxibus o microbus) según cinco grandes categorías. Previamente ha muestreado sobre los vehículos la carga promedio que esas categorías representan; se recomienda muestrear por tramos homogéneos ya sea entre 2 paraderos o en longitudes de 400 a 500 metros, en intervalos de 15 minutos que pueden ser posteriormente agregados.

En Santiago se emplearán las siguientes categorías con los respectivos valores.

**TABLA 5.2.4 (1)**

### **TASA DE OCUPACION PROMEDIO SEGUN CATEGORIAS**

<b>Categoría</b>	<b>Pasajeros por vehículo</b>	
	<b>Taxibus</b>	<b>Bus</b>
A	44,2	83,1
B	34,5	56,7
C	27,3	41,6
D	18,3	26,0
E	9,4	12,4

Fuente: SECTU

Las categorías se definen de la siguiente forma:

- A: el vehículo completamente ocupado con pasajeros casi colgando
- B: más de la mitad del pasillo 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.

Se debe tener especial cuidado de realizar la muestra de forma aleatoria según se describe en el párrafo siguiente. El formulario tipo a emplear se adjunta en anexo. Para determinar la tasa de ocupación media, se debe calcular un promedio ponderado de los factores de ocupación promedio por categoría antes mencionados. Para el caso de otras ciudades, si los vehículos son diferentes, debe hacerse un muestreo previo a fin de determinar los pasajeros por vehículo correspondientes a cada categoría.

**b) Consideraciones estadísticas.** En este caso hay dos elementos aleatorios en juego: la distribución del número de pasajeros en buses alrededor de las medias definidas para cada una de las cinco categorías anteriores, y la distribución de cada categoría en la población. Si se supone Normalidad, las medias de cada categoría son insesgadas, el problema se independiza del primer elemento y sólo resta determinar el tamaño de muestra necesario para calcular la media de las tasas de ocupación, entre promedios de categorías. Teniendo disponible información sobre coeficientes de variación de estos valores, se puede utilizar la ecuación (5.2.1-1) para determinar el tamaño de muestra que asegurara un error de máximo de 10% al 95% de confianza. Valores aproximados para Santiago oscilan alrededor de  $CV = 0,2$ , lo que indica que se debieran tomar muestras de al menos 15 vehículos. Un elemento de vital importancia en este caso es cómo evitar el sesgo muestras; éste va a existir si los encuestadores tienen la libertad de escoger cuáles 15 vehículos observar; por esto es conveniente diseñar una regla sistemática clara (anotar la ocupación de uno cada  $n$  vehículos), dependiente de los flujos analizados (por ejemplo, si sólo pasan 2 buses por minuto se pueden observar todos).

**5.2.4.1 Autos y otros vehículos.** El proceso en estos casos es mucho más sencillo, dada la pequeña capacidad de pasajeros.

**a) Metodología.** Se muestrea según las consideraciones estadísticas descritas en el párrafo siguiente, y se cuenta en cada caso el número de pasajeros que ocupa el vehículo,

anotando en una hoja de trabajo las cifras respectivas. La tasa de ocupación media es precisamente el promedio de todas las cifras obtenidas Cabe remarcar en este caso, como en el anterior, la necesidad de ubicar al observador en un lugar donde se produzcan detenciones para observar más fácilmente a los pasajeros. Cuando ello no es posible (en medio de un enlace en un eje arterial con vehículos a velocidad), es recomendable tomar una cierta distancia de los flujos a fin de poder registrarlos con mayor precisión.

**b) Consideraciones estadísticas.** Este caso es sin duda más simple que el discutido en el acápite anterior; coeficientes de variación observados en Santiago para esta variable no superan el valor 0,1, lo que indica - de acuerdo a las consideraciones de la ecuación (5.2.1-1) - que se necesitada observar un mínimo de sólo 4 observaciones suponiendo Normalidad. Consideraciones prácticas van a permitir sin duda lograr tamaños de muestra mucho mayores; se debe cuidar no obstante el no incurrir en algún tipo de sesgo muestras.

## 5.2.5 CAPACIDADES

**5.2.5.1 Generalidades.** El problema de medir capacidades dice relación no sólo con la determinación de los flujos de saturación. También comprende los retardos iniciales y ganancias finales propios de las intersecciones semaforizadas, y el concepto de capacidad variable (es decir función de los flujos prioritarios circulantes) para las intersecciones de prioridad. Aún más, no basta solamente con la determinación de esos parámetros y/o funciones, sino que el análisis de capacidad propiamente tal se realiza después, ya sea a través de modelos como SIGCAP, ARCADY o PICADY según sea el caso, que son alimentados con los datos antes mencionados.

**5.2.5.2 Flujos de saturación.** Para la recolección de los flujos de saturación en intersecciones semaforizadas, se recomienda lo siguiente:

**a) Método a emplear.** Se recomienda utilizar el definido en el Road Note 34 (RN34) de; Department of Transport británico. Las características de la muestra, las consideraciones sobre como proceder, y su forma de procesamiento, están detalladas en ese documento. Sin embargo, en el presente Manual se considera pertinente agregar algunas precisiones que son importantes. La más decisiva es que los flujos de saturación se deben medir por pista y no por rama o acceso; se harán aclaraciones específicas para cada caso, según se trate de pistas que reciben mucha fricción, como las ubicadas en las cercanías de las aceras, o de pistas más libres. Obviamente este método sólo se puede emplear si se presentan colas con cierta saturación, en caso contrario los flujos se deben estimar.

**b) Equipos a emplear.** Se recomienda grabar con video la situación de saturación y descargar para el total de la muestra determinada. La grabación de video es posteriormente analizada en laboratorio, lo que permite repetir el experimento a fin de examinar en detalle los casos dudosos. Esto es importante, ya que la decisión en terreno de si se está descargando a tasa de saturación, es muy sutil y difícil de acceder; de hecho, puede redundar en una subestimación de los flujos de saturación. El cálculo se debe hacer en forma manual en el laboratorio siguiendo las indicaciones del RN34. En caso de que

tampoco se disponga de equipo de video para trabajar en laboratorio, se deberá recurrir al empleo de dos ayudantes- uno que registre los datos en la hoja de trabajo de acuerdo a las recomendaciones del RN34, y otro que vaya indicando en voz alta un intervalo de seis segundos, que es la magnitud estándar de tiempo empleada en dicha metodología. Se recomienda evitar, cuando sea posible, la determinación manual en terreno, ya que normalmente conduce a una subestimación de los flujos.

**c) Pistas junto a la acera.** En este caso es conveniente tomar las siguientes prevenciones:

- tener claro la longitud de la cola que está esperando durante el rojo del semáforo (máxima cola) y los vehículos que la componen;
- si algún vehículo interrumpe o demora (hay que sortearlo) el flujo de descarga por un estacionamiento provisorio o temporal, se debe seguir recogiendo datos como si se estuviera descargando en forma normal; de esta forma se toma en cuenta el efecto estacionamiento sobre la calle que tiene importancia en algunas situaciones;
- en forma análoga, si el flujo es interrumpido o demorado porque un vehículo de la locomoción colectiva se detiene a recoger o dejar pasajeros, no debe interrumpirse el proceso; de esta manera se incorpora el efecto paradero, de difícil estimación,
- la introducción del efecto de giro es incorporado automáticamente, ya que los vehículos que giran a la derecha lo harán de una forma más lenta, reduciendo de esta manera la capacidad de la pista, en la proporción en que ellos estén presentes en la pista lateral, sin necesidad de emplear efectos de equivalencia de vehículos a la derecha. parindent=20pt

**d) Otras pistas.** Para las otras pistas se debe proceder normalmente como detalla el RN34. En el caso de giros a la izquierda con fase propia, el efecto giro estará explicado por la velocidad y, análogamente al caso de los virajes a la derecha, no se deberá hacer corrección por factores de equivalencia.

**e) Otras consideraciones.** No en todos los casos será posible medir los flujos de saturación porque puede que no haya más de uno o dos intervalos saturados. En ese caso,

puede emplearse una estimación basada en intersecciones análogas del mismo eje, o parecidas en el área de estudio.

**5.2.5.3 Retardo inicial y ganancia final.** La determinación de la ganancia final o el retardo inicial en los cruces semaforizados, se hará de acuerdo a las normas del RN34.

Para el caso en que resulten diferentes valores de los parámetros en las pistas de una rama, hay que llegar a un compromiso promediando los valores de cada pista. Aunque siempre es posible obtener el valor del retardo inicial, en pocas ocasiones es posible obtener el valor de la ganancia final. En estas circunstancias, podrá emplearse un valor por defecto, de un segundo, o algún valor semejante obtenido en intersecciones análogas dentro de área de estudio o en la misma ciudad.

**5.2.5.4 Determinación de la capacidad.** A partir de los antecedentes anteriores, e información complementaria requerida por el programa SIGCAP, podrá efectuarse un análisis de capacidad de la intersección semaforizada y determinar el grado de sobresaturación en que se encuentra, o la capacidad de reserva con que cuenta. Los detalles de entrada de datos y requerimientos de SIGCAP, se encuentran debidamente documentados en su Manual de uso (Allsop, 1975).

**5.2.5.5 Intersecciones prioritarias.** Para la determinación de la capacidad de este tipo de intersecciones, se procederá simplemente a ocupar las fórmulas entregadas por PICADY para el caso de PARE o Ceda el Paso, y por ARCADY para las rotondas. En este caso específico, la saturación no puede medirse en los accesos sin prioridad, ya que es una función de los flujos prioritarios. Lo que se debe medir por lo tanto, son las características geométricas de la intersección y sus flujos en periodos de 15 minutos; los datos así obtenidos se deben introducir de acuerdo a las indicaciones de los manuales de uso de ARCADY y PICADY. Si bien es cierto las cifras que se obtienen son una estimación, no hay un gran peligro de que ella sea muy incorrecta. Cuando se está en zonas cercanas a la sobresaturación, que son los casos en que importarla mucho equivocarse en el flujo de saturación, normalmente ocurrirá que el cruce respectivo dejará de ser de tipo prioritario

para dar paso a una intersección semaforizada. Para el resto de las ocasiones, lo que se determine a través de PICADY o ARCADY, podrá considerarse una buena aproximación.

Cuando se encuentre disponible en el mercado la versión de PICADY con parámetros calibrados para el caso chileno, podrá emplearse esa versión. Mientras tanto la versión inglesa es una buena aproximación.

## **5.2.6 TIEMPOS DE VIAJE**

**5.2.6.1 Consideraciones generales.** La recolección de los tiempos de viajes, es una tarea que puede hacerse de diferentes maneras. Los principales métodos de recolección se describen a continuación. Paralelamente con los tiempos de viajes, hay otros antecedentes que pueden recogerse y que son necesarios para la calibración de modelos (en especial TRANSYT/8), tales como la proporción de buses que se detienen en paraderos y el tiempo promedio de detención. Cada uno de los aspectos anteriores será brevemente descrito, haciendo referencia a los manuales y a la bibliografía disponible al respecto, para detalles.

**5.2.6.2 Método de la persecución de vehículo.** La idea básica es perseguir a un vehículo seleccionado al azar en la corriente, siguiéndolo lo más de cerca posible en todas sus maniobras desde el punto de partida hasta una salida previamente seleccionada. Como no se sabe el destino del vehículo, este método es más útil en el caso de ejes arteriales, en que normalmente el grueso del tráfico sigue el corredor y hay pocos desvíos laterales. El mayor cuidado debe ponerse en la selección aleatoria del vehículo, ya que puede producirse un sesgo en las muestras (vehículos con colores atractivos, muchas veces son seleccionados, pero como pertenecen a personas más jóvenes, tienden a viajar con mayor velocidad). Este método en general es más recomendable para los tiempos de viaje de la locomoción colectiva que de los autos.

**5.2.6.3 Método de las patentes.** Este es el mismo método explicado anteriormente para la determinación de las matrices origen-destino de viajes. En el caso anterior, era posible registrar solamente las patentes y no el tiempo. Cuando ambas mediciones se realizan simultáneamente, en el proceso de pareamiento de las patentes se obtienen los tiempos por diferencia. Todas las consideraciones entregadas en el caso de las matrices son válidas para el caso de los tiempos, con la única diferencia de que los cuidados, y la recomendación respecto al uso de equipos microcomputacionales en terreno, para los puntos mas importantes, es en este caso prácticamente obligatoria. Finalmente, cabe agregar que para cada par en que se esté determinando el tiempo hay que establecer un tiempo mínimo y un tiempo máximo de recorrido. De esa manera se evita tomar como observaciones de un

mismo vehículo, a la salida y entrada de la red, las de vehículos que puedan tener los mismos cuatro dígitos pero diferentes letras iniciales; lo que produciría ya sea tiempos exorbitantemente grandes o demasiado pequeños.

**5.2.6.4 Método del vehículo flotante.** Este método sirve para determinar flujos y tiempos de viaje. En la bibliografía de tráfico se encuentra una descripción detallada de su empleo para ambos fines (ver Salter, 1975). Cuando sólo se utiliza para la determinación de los tiempos, consiste básicamente en la realización de recorridos en el tramo sobre el que se mide, por parte de un vehículo denominado auto test; éste trata de mantenerse en la corriente, sin ser sobrepasado ni sobrepasar (o siendo pasado por tantos vehículos como él ha pasado). Es un método sencillo, particularmente apropiado para la medición de tiempos de viaje en auto; sin embargo, no es tan bueno para el caso de vehículos de locomoción colectiva. El número de veces que es necesario realizar la medición se discute en el acápite 5.2.6.6.

**5.2.6.5 Método de; vehículo flotante modificado.** El método anterior puede experimentar variaciones si se dispone de un Journey Event Recorder acoplado y calibrado para el auto test. Se deben realizar los mismos recorridos que en el método normal, pero registrando como eventos, no sólo las líneas de parada en los diferentes nodos (previamente definidos), sino que también acontecimientos tales como detenciones extras por interferencia en paraderos y detenciones por cualquier evento. Dado que el instrumento anterior entrega no sólo los tiempos sino que también las distancias, es posible conseguir una visión mucho más clara en laboratorio de las velocidades desarrolladas a lo largo de los tramos y de la influencia de las detenciones parciales. Este método es apropiado tanto para autos como para buses; sin embargo en este último caso es más conveniente que el vehículo instrumentado desarrolle un seguimiento de buses tal como el explicado anteriormente para el método de "persecución de vehículo".

**5.2.6.6 Consideraciones estadísticas.** En este caso la suposición de Normalidad es apoyada por experimentos realizados en varias partes del mundo; éstos han permitido concluir que si bien la función de distribución que mejor representa a los tiempos de viaje

en auto y bus es la log-Normal , esto es más claro desde el punto de vista teórico (la Normal puede dar tiempos negativos y la log-Normal no) que práctico, por que ajustes empíricos de la distribución Normal han dado resultados muy buenos.

**a) Tiempos de viaje en bus.** Resultados experimentales para ciudades de los EE.UU. y Europa, indican que el coeficiente de variación de esta variable oscila entre 0,12 y 0,21 (para tiempos de viaje promedio entre 19 y 46 min.); como las variaciones debidas a congestión son mayores en estos países, es factible pensar que aún cuando en Chile hay mayor número de buses en circulación, con conductas muy diferentes en cuanto a toma de pasajeros, la variación acá no debiera superar significativamente los valores anteriores. Si se escoge conservadoramente un valor de 0,25 para CV, la ecuación (5.2.1-1) indicaba un tamaño muestral de 24 observaciones como mínimo, para un error máximo de 10% al 95% de confianza.

**b) Tiempos de viaje en auto.** Resultados análogos para ciudades de Australia, los EE.UU. y Europa, indican que el coeficiente de variación de esta variable oscila entre 0,05 y 0,22 (para tiempos promedio de viaje entre 6 y 63 min.); suponiendo un valor promedio entre los anteriores (0,13) se obtiene de la ecuación (5.2.1-1) un tamaño muestras de 7 observaciones como mínimo, para un error máximo de 10% al 95% de confianza.

## **5.2.7 ACCIDENTES**

**5.2.7.1. Generalidades.** Los accidentes en el tránsito se reconocen como un fenómeno aleatorio, multicausal y de baja frecuencia. Cada uno de ellos, responde, en general, a la concurrencia simultánea en el tiempo y en el espacio de una gran cantidad de factores. A través de diversas investigaciones nacionales e internacionales se ha demostrado que la vialidad urbana constituida por la infraestructura y sistemas de operación y control, además de los volúmenes de tránsito vehicular y de peatones juegan un rol preponderante en ellos (ver González, Valenzuela y Jofré, 1985; González, 1986). Interesará desde el punto de vista de los proyectos de vialidad urbana identificar el universo de accidentes en los cuales ésta ha jugado o jugará algún rol. En este sentido será posible siempre encontrar un número y tipo de accidentes independiente de la infraestructura y/o gestión de ésta. El uso de los datos de accidentes es por el momento fundamentalmente apreciativo por parte del modelador y evacuador. No hay disponibles funciones o estadísticas medias validadas que permitan estimar a futuro el número de accidentes frente a diversas alternativas. Ha contribuido a esta situación las dificultades y consideraciones de costo con que en general se accede a la información básica. El párrafo siguiente, donde se explica dónde y como recolectar la información busca sistematizar el proceso de tal manera sea posible en un corto plazo superar la situación antes mencionada.

**5.2.7.2 Recolección de información.** Para la recolección de información de accidentes en el tránsito se puede recurrir a las siguientes fuentes:

- Unidad Policial correspondiente al área en estudio (Comisaría, Sub-Comisaria, Tenencia, Retén)
- Comisaría de Investigación de Accidentes de Tránsito (CIAT)
- Compañías de Seguro
- Juzgados de Policía Local y del Crimen.

En la práctica resulta aconsejable acudir a las Unidades Policiales ya que tanto los juzgados como aseguradores utilizan los partes extendidos por la policía. La CIAT concurre a un número reducido de casos, correspondiente a los accidentes de mayor gravedad, recogiendo

información con un gran nivel de detalle. Esta información puede ser complementaria en determinados casos a la anterior. Para el proceso de recolección se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Obtener del organismo público contratante un oficio dirigido al Comisario de la unidad policial con jurisdicción en la zona de estudio, solicitando acceso a los libros de partes.
- Revisar los libros de partes correspondientes a los Juzgados de Policía Local (Accidentes sin lesionados o leves) y Juzgados del Crimen (Accidentes con lesionados de gravedad). En general será posible encontrar información de accidentes ocurridos en los dos últimos años en el caso de Juzgados de Policía Local y de los cuatro últimos en el caso de Juzgados del Crimen.
- Recoger la información de los accidentes de interés en los formularios que se adjuntan, con un periodo mínimo de dos años, siendo recomendable tres

**5.2.7.3 Procesamiento.** El procesamiento de los datos de accidentes debe estar orientado fundamentalmente a realizar un diagnóstico de la accidentabilidad del área en estudio. Este diagnóstico puede enfocarse en dos direcciones básicas.

**a) Conocimiento de la magnitud del problema.** Para esto se deberá obtener las tasas anuales de accidentes separadamente según intersección o arco y tipo de accidente, de acuerdo con el nivel de desagregación que lo permita la información disponible. En términos generales es posible clasificar los accidentes de acuerdo con la siguiente tipología; atropello, choque frontal, choque lateral, colisión frontal, colisión cruzada, colisión posterior, voleadura y caída de vehículo, cada uno de ellos según accidentes con o sin lesionados y según tipo de vehículo participante. Como cifra de referencia, una intersección con mas de 5 accidentes totales al año puede identificarse como un foco de riesgo de accidentes, sobre el cual debiera adaptarse algún tipo de contramedidas.

**b) Detección de elementos comunes en la ocurrencia de accidentes que permitan extraer relaciones de causalidad.** El uso de métodos gráficos, en que se lleve a un plano la ubicación espacial de cada accidente codificado según tipo, junto con la ayuda

de programas computacionales que permitan agrupar los accidentes según características comunes, constituyen buenas herramientas para esta etapa de diagnóstico.

Los resultados de este análisis deberán permitir, junto con detectar la importancia del problema, introducir elementos a considerar en la definición de la situación base e identificación de alternativas.

## **5.2.8 LONGITUDES DE COLA**

**5.2.8.1 Generalidades.** Tal como se definieron en el capítulo 2, hay tres tipos de colas de vehículos que interesa medir- las colas excedentes y las colas máximas en nudos semaforizados, y las colas promedio en el caso de intersecciones prioritarias. Las colas excedentes y máximas se utilizan para efectos de calibración cuando es posible simular cruces semaforizados con SIDRA o TRANSYT. Las colas promedio se emplearán para efectos de calibración de PICADY y ARCADY. Las metodologías recomendadas en cada caso se describen a continuación.

**5.2.8.2 Colas excedentes.** Su medición deberá efectuarse normalmente apoyada de video a fin de verificar en laboratorio si las decisiones tomadas en terreno fueron correctas. Es importante destacar que es absolutamente necesario realizar un estudio piloto breve en terreno para verificar cuál es el largo aproximado de las colas excedentes; éstas se definen como el número de vehículos que existe en una pista al momento de comenzar el rojo efectivo. Asumida una cierta cantidad de vehículos promedio preliminar, el observador se coloca en ese punto, y al comenzar el rojo efectivo del movimiento cuya cola se está midiendo, procede a contar aproximadamente la cantidad de vehículos de diferencia que existe con respecto a la cola promedio estimada. Esta diferencia podrá ser obviamente positiva o negativa, suponiéndose después de unas treinta observaciones si es posible (para incluir el efecto de los grandes números), que la cola promedio es la longitud media preliminar más menos el promedio de las desviaciones calculadas. Dado que las diferencias son estimaciones visuales, se recomienda que las personas que las realicen tengan entrenamiento y experiencia previa, porque los errores en que se puede incurrir pueden ser graves. Para disminuir el problema anterior, se recomienda realizar las observaciones con dos o tres personas, ya que esto contribuye a eliminar posibles fuentes de error sistemático. El video auxiliar puede servir de complemento en el laboratorio para verificar los datos recogidos en terreno y separar los errores sistemáticos que un observador pudiera haber cometido.

**5.2.8.3 Colas máximas.** Aunque el método para medir las colas máximas es análogo al anterior, hay que tener mucho más cuidado porque las colas son obviamente más grandes (son las que se observan al momento en que empieza el verde efectivo de; movimiento en estudio). La precisión al estimar el posible punto medio en este caso debe ser mayor que en el caso anterior, y las recomendaciones de eliminar fuentes de error sistemáticos a través de observadores experimentados, es también de mayor importancia que en el caso anterior. Dado que las variaciones en las colas máximas son más grandes que en las colas excedentes (un porcentaje sobre un cifra mayor es siempre un número mayor), los errores de apreciación sobre las diferencias con la cola promedio estimada preliminarmente pueden ser mucho mayores.

**5.2.8.4 Colas en intersecciones prioritarias.** Estas en general no son demasiado grandes. Cuando se hacen muy grandes normalmente corresponde cambiar de señal de prioridad a una situación de nudo con semáforo. Sin embargo, es conveniente medirlas, y como el flujo de saturación de los movimientos sin prioridad (es decir los que tienen colas en nudos prioritarios) es una función de los flujos que tienen prioridad, la tarea de medir estas colas es diferente. Para empezar sería conveniente que cada cierto intervalo de tiempo, por ejemplo cada medio minuto o cada minuto, se midieran las colas. Para estos efectos lo que corresponde es medir análogamente a los casos anteriores, desde un punto intermedio ficticio (determinado previamente, pero que no es una cola promedio porque no hay el fenómeno cíclico de los nudos semaforizados), las diferencias que se produzcan con respecto a él. Normalmente bastará instalarse a unos cuatro o cinco vehículos de distancia desde la línea de parada para medir las colas. Las mediciones en estos intervalos se agruparán cada cinco minutos y se promediarán por ese lapso. Posteriormente, durante la hora de observación, podrá obtenerse un perfil de doce puntos mostrando la evolución de la cola durante ella; éste podrá ser empleado posteriormente en la calibración de los programas de simulación. Los costos anteriores pueden disminuirse muestreando cada cinco minutos alternadamente para varios movimientos, obteniéndose así un perfil de seis puntos por hora, que si bien es menos preciso, sirve en todo caso para efectos de calibración.



## **SECCION 5.3: ESTIMACION DE PARAMETROS DE TRANSITO**

### **5.3.1 INTRODUCCION**

La estimación de parámetros de tránsito, es una de las labores más decisivas para el proceso de diseño y simulación de alternativas hacia el futuro. Sin embargo, la experiencia chilena en este sentido no es muy amplia, por lo que se requiere emplear en muchos casos parámetros estimados en otros países. Si se efectuara un seguimiento de los proyectos, en el sentido de que a posteriori se midieran algunos de los parámetros y magnitudes más importantes, podría obtenerse una valiosa experiencia que nos permitiría modificar hacia adelante las cifras que se utilizan en la actualidad. Sin esta retroalimentación, que nace de haber estimado valores y después haber comprobado en terreno si ellos se comportan satisfactoriamente, no es posible elaborar antecedentes para la evaluación y diseño, absolutamente fieles. Sin embargo, una cosa es importante de todas maneras: la coherencia entre los valores que se asumen en un estudio y los que se asuman en otro. Puede que las cifras empleadas estén subestimando algún valor, pero mientras ese error sea sistemático, al menos para efectos de realizar ranking de proyectos, no se estará llegando a decisiones absolutamente equivocadas. Los parámetros más importantes a estimar, se han subdividido en los tres grandes rubros que se describen a continuación:

- capacidades en intersecciones semaforizadas,
- capacidades en intersecciones prioritarias y
- estimación de velocidades.

### 5.3.2 CAPACIDAD DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

**5.3.2.1. Preliminares.** Análogamente al caso de medición de capacidades de intersecciones semaforizadas, explicado en la sección anterior, en este caso se tratarán los temas de estimación de flujo de saturación, retardo inicial y ganancia final. La estimación y análisis mismo de la capacidad, es tarea posterior del diseñador, ya que depende fundamentalmente del sistema de control y de la forma como se optimizará el semáforo de la intersección.

**5.3.2.2. Determinación del flujo de saturación.** El flujo de saturación se determinará por pista, de acuerdo a la siguiente secuencia para el caso de las intersecciones semaforizadas.

a) **Cálculo del flujo base.** El flujo base se estimará por pista. El ancho normal de una pista es entre 3 y 3,5 metros. Si es mayor o menor, podrá emplearse un factor de corrección. En la tabla 5.3.2 (1) se adjuntan los valores de flujo base.

**TABLA 5.3.2 (I)**  
**FLUJOS DE SATURACION BASE**  
**en ADE/hr por pista normal**

Caso	Zona céntrica ADE /hora	Fuera del centro ADE/hora
Período punta:		
ambiente normal	1600	1800
mal ambiente	1360°	1620
buen ambiente	--	2160
Período fuera de punta		
ambiente normal	1520	1710
mal ambiente	1360	1620
buen ambiente	--	2050

Se entiende por buen ambiente cuando no hay problemas de interferencia peatonal, existe buena visibilidad y buena alineación horizontal y vertical. En caso contrario se entenderán como malas. Por las definiciones anteriores en zonas céntricas no existirá “buen ambiente”. Por normal se entiende un ambiente equidistante de las dos definiciones anteriores.

**b) Corrección por gradiente.** Corresponde realizar una corrección a los flujos anteriores, de un 1 % por cada 3 % de gradiente (negativa o positiva). El gradiente debe medirse 60 metros aguas arriba de la línea de parada de la pista o calle considerada.

**c) Corrección por vehículos estacionados.** Las pistas del extremo derecho según el sentido de la vía o calle, pueden ser obstruidas por vehículos estacionados. Si en el diseño se prevé que esas condiciones van a operar en el futuro, debe descontarse al flujo antes calculado, una magnitud en vehículos equivalente por hora igual a  $20(60-d)$ , en que “d” es la distancia en metros desde la línea de parada hasta al primer vehículo estacionado aguas arriba. La distancia "d" obviamente debe ser menos de 60 metros.

**d) Corrección por paradero de locomoción colectiva.** Análogamente al caso de los estacionamientos, si en el proceso de diseño no ha sido posible eliminar el paradero de las cercanías de la línea de parada en la intersección, corresponderá corregir descontando al flujo de saturación de la pista lateral derecha, una flujo en veh-hora calculado según la expresión:

$$\text{Descuento por paradero} = 30p(60 - d) \quad d < 60 \text{ (en metros)}$$

en que “p” es el porcentaje del tiempo que hay al menos un bus en el paradero, y “d” es la distancia en metros, aguas arriba desde la línea de parada hasta el paradero. Para el caso de “p” se puede asumir como una aproximación aceptable tanto valores de situaciones similares observadas en la ciudad, principalmente arcas cercanas, como que el paradero es un sistema de una cola con un servidor, en que los flujos llegan aleatoriamente (lo que obviamente no es cierto), y que están en servicio durante un tiempo equivalente al tiempo medio de parada. La probabilidad de que no haya ningún vehículo en el sistema, nos da el

valor “p” deseado. Este último valor puede tomarse de situaciones parecidas en las cercanías o vías semejantes.

**e) Corrección por viraje sin oposición.** Cuando existan pistas en que todos los vehículos giran a la izquierda o derecha con fase propia, puede estimarse el flujo de saturación a partir de una de dos correcciones que se le hacen a los 1800 veq por hora-. una posibilidad es dividir por un factor dado por la siguiente fórmula:

Factor de corrección para los giros =  $(1 + 1.5/r)$

en que “r” es el radio de giro en metros. Valores típicos para “r” son: 5 metros para giros muy bruscos, 10 metros para giros normales, y 15 metros para giros generosos o amplios. La otra posibilidad es simplemente multiplicar el flujo básico por un factor de corrección promedio para Santiago de 0.85 (Coeymans y Neely, 1984).

**5.3.2.3 Saturación en giros a la izquierda sin fase propia.** Cuando los vehículos que desean girar a la izquierda en un cruce semaforizado tienen que encontrarse con un flujo opuesta que les obstaculiza el viraje, se tienen dos situaciones: la de compartir la pista con otros vehículos, y la de tener una pista exclusiva de viraje, pero igualmente tener que esperar alguna brecha en el flujo contrario a fin de poder girar.

**a) Pista compartida.** En este caso la que se ocupa normalmente es un factor de equivalencia para los flujos que giran. El flujo de saturación base se corrige dividiendo por un factor de corrección calculado según la siguiente fórmula:

$$f_c = (\sum_i e_i q_i) / q \quad (5.3.2 - 1)$$

en que:

$f_c$  = factor de corrección

$e_i$  = factor de equivalencia en ADE

$q_i$  = flujo en vehículos por hora del tipo i

q = flujo total en vehículos por hora

Dado que el factor de equivalencia depende de los repartos de verde (y como consecuencia del ciclo, del semáforo) se entra en un proceso iterativo que hay que hacer converger. La fórmula a emplear para calcular el factor de equivalencia es la siguiente:

$$e_i = (0.5v_i)/(s_u v_u + n_f) \quad (5.3.2 - 2)$$

donde:

$e_i$  = factor de equivalencia, ADE/veh

$v_i$  = verde efectivo para movimiento obstaculizado

$s_u$  = flujo de saturación para el viraje, obtenido como función del flujo obstaculizador en la parte no saturada de su movimiento (veh/seg)

$v_u$  = parte no saturada del movimiento obstaculizador obtenida a partir de la ecuación (5.3.2-3)

$s_u v_u$  = número de vehículos (por ciclo) que pueden girar durante el periodo  $v_u$ .

$n_f$  = número de vehículos (por ciclo) que pueden girar durante el periodo de entreverde que sigue al final de la etapa correspondiente.

La parte no saturada de un movimiento obstaculizador puede calcularse a través de la fórmula-

$$V_u = (s v - q c) / (s - q) \quad (5.3.2 - 3)$$

donde.

q = flujo o demanda en veh/seg

s = flujo de saturación en veh/seg

v = verde efectivo en seg

e = duración del ciclo en seg

Los anteriores parámetros corresponden al movimiento obstaculizador. La ecuación anterior es válida para movimientos obstaculizadores i./o saturados, es decir  $sv > qc$  para el caso en que esté saturado considérese  $v_u = 0$ . El verde efectivo v del movimiento

obstaculizador no necesariamente debe ser igual al del Movimiento obstaculizado debido a que los tiempos perdidos pueden ser diferentes, o a que el movimiento obstaculizado puede también estar traslapado. El valor  $n_f$  puede asumirse en una primera aproximación como 1,5. Tiene bastante importancia cuando el movimiento obstaculizador se acerca a la saturación. Puede de áreas vecinas sacarse valores de comportamiento al respecto que hagan asumir un valor diferente al sugerido. En el caso de que el movimiento obstaculizante es traslapado, el valor más realista para  $n_f$  es  $x$ . Finalmente en caso de existir más de un movimiento obstaculizador debe considerarse aquel que sea más crítico, es decir que tenga un verde no saturado más pequeño. Sin embargo debe calcularse su  $a$  a partir de la suma de los dos flujos obstaculizantes.

**b) Giros con pista exclusiva.** El método en este caso es análogo al anterior a través de las ecuaciones (5.3.2-1) y (5.2.2-2). El verde efectivo en este caso se calcula como:

$$v = v_u + (n_f / s_u) \quad (5.3.2 - 4)$$

**c) Proceso iterativo.** Las ecuaciones anteriores indican que el flujo de saturación para movimientos obstaculizados depende de la duración de las etapas del semáforo, las que a su vez dependen de los flujos de saturación, incluyendo el del viaje obstaculizado. Lo anterior lleva a que los cálculos sean realizados en forma iterativa y por aproximaciones sucesivas. Como punto de partida se recomienda asumir que ningún viraje es obstaculizado por otros movimientos. Esto permite realizar un primer cálculo del ciclo y los repartos, los que a su vez permitirán estimar los nuevos flujos de saturación de los giros obstaculizados. Los cálculos deben repetirse hasta que no se produzcan diferencias significativas en dos iteraciones sucesivas. Si los virajes obstaculizados son una proporción pequeña del movimiento en una pista compartida, puede usarse directamente un valor de equivalencia de 1,75 ADE.

**5.3.2.4 Retardo inicial y ganancia final.** Para estimar el retardo inicial y la ganancia final, se puede asumir como primera aproximación los valores que se entregan en la tabla

adjunta, tanto para la situación de calles en zonas céntricas (CBD) como para vías en el resto de la ciudad.

**TABLA 5.3.2 (II)**  
**RETARDOS INICIALES Y GANANCIAS FINALES**

Zona	Retardo inicial (seg)	Ganancia final (seg.)
céntrica	3.0	2.0
no céntrica	2.0	1.0

En todo caso, cuando se tenga información en zonas similares o aledañas puede asumirse las cifras de esas, situaciones parecidas como valores del retardo inicial y de la pérdida final.

### 5.3.3 -CAPACIDAD DE INTERSECCIONES PRIORITARIAS

**5.3.3.1 Introducción.** Para la determinación y análisis de capacidad de las intersecciones prioritarias se emplearán los programas PICADY y ARCADY, correspondiendo el primero a las intersecciones del tipo PARE y CEDA EL PASO, y el segundo a las rotondas, las cuales son en el fondo un caso especial de intersecciones CEDA EL PASO. Todas las instrucciones sobre el uso de esos programas está en los Manuales; de Uso y la bibliografía básica concomitante. Dichos manuales, para todos los efectos, se entenderán como parte integrante de estos acápite.

Las capacidades que entregan tanto PICADY como ARCADY son para las ramas no prioritarias en términos de flujo máximo de saturación dado los flujos prioritarios existentes. Para los movimientos prioritarios puede asimilarse los valores de flujo de saturación de intersecciones semaforizadas aumentados en un 10%, debido a que corresponden a lo que en la literatura se denomina 'flujo de saturación de entrada a enlace' (Logie, 1982).

Como en este tipo de intersecciones no operan los factores de proporción de tiempo de verde efectivo con respecto al ciclo, propio de los nodos semaforizados, la determinación del grado de saturación se deduce directamente de la expresión

$$x_i = q_i / s_i$$

con

$x_i$  = grado de saturación del movimiento  $i$ ,

$q_i$  = demanda del movimiento  $i$ ,

$s_i$  = flujo de saturación del movimiento  $i$ .

**5.3.3.2 Intersecciones PARE y CEDA EL PASO.** Para estas intersecciones se empleará el programa PICADY. Las siguientes observaciones son importantes de tener en cuenta:

**a) Número de ramas en los nodos.** La versión PICADY2 puede modelar las intersecciones PARE y CEDA EL PASO que tengan tres o cuatro ramas.

**b) Opciones de flujos.** En PICADY2 se puede tener cuatro opciones para suministrar la información de flujos, aspecto que es sumamente importante en el proceso de moderación:

- el usuario de PICADY entrega los flujos directamente para cada segmento de tiempo,
- el usuario entrega los momentos en que empieza a subir la demanda, el momento en que se alcanza el peak y el momento en que se vuelve a una condición de cierto régimen, con los flujos respectivos. El programa ajusta automáticamente a partir de esos datos.
- el usuario entrega los flujos de cuatro horas consecutivas de observación, y el programa ajusta dentro de esas horas el mejor perfil de distribución de flujos durante ellas.
- el usuario entrega la hora punta en forma de una matriz de origen-destino de viajes entre las diferentes entradas y salidas, y el programa sintetiza y ajusta una curva normal a esos datos.

**c) Variabilidad de los parámetros.** Las colas y demoras en un cruce como estos son muy variables, no solo en el periodo de estudio en consideración sino que también entre días y días. Los promedios que entrega PICADY son respecto a varios días, por lo que debe tenerse cuidado de no exigir en el proceso de calibración, un ajuste demasiado estricto, a no ser en el caso que se disponga de una cantidad de información muy grande, lo que normalmente no es posible por los altos costos ser así.

**5.3.3.3. Rotondas.** El caso de ARCADY es semejante al de PICADY, en que la versión de ARCADY2 tiene todas las potencialidades de PICADY2 en la entrada de datos. La diferencia más importante es que las fórmulas de capacidad para cada entrada a la rotonda son mucho más sencillas que en el caso de los cruces PARE y CEDA EL PASO, porque se ven obstruidos los flujos no prioritarios solamente por la corriente circulante (flujos

prioritario desde la izquierda. El número de ramas que ARCADY puede analizar en la versión 2 es 7. Finalmente, en forma análoga a PICADY2, los datos necesarios se pueden resumir en cuatro grandes grupos:

- Datos generales de la intersección.
- Información sobre duración y forma del análisis.
- Detalles geométricos de la intersección en estudio.
- Flujos para cada rama en cada segmento de tiempo, o antecedentes de como va a ser realizado el ajuste de los flujos en el tiempo de análisis, según se describió en el párrafo anterior.

### 5.3.4 VELOCIDADES

**5.3.4.1 Preliminares.** La estimación de velocidades es un proceso necesario de realizar cuando no hay datos directos o cuando se quiere asimilar por razones de analogía una situación de un proyecto a la de otro. Así mismo es necesario estimar velocidades cuando va a haber cambios respecto a la situación actual ya sea por ensanches o agrandamientos de las vías, o porque se producirán reasignaciones de flujos que harán por lo tanto cambiar las velocidades existentes positiva o negativamente. Para la realización de esas labores, es indispensable distinguir los diferentes casos que se pueden presentar. En los puntos siguientes se sugerirá la metodología más apropiada en cada situación.

**5.3.4.2. Proyectos sin resignación y sin ensanches.** En este caso, las estimaciones se deberán realizar asimilando la situación del proyecto a la de alternativas viales similares. Se distinguen las siguientes situaciones:

**a) Autopistas.** Las velocidades de diseño deben considerarse como las velocidades de operación de ellas. Dados los estándares de diseño usuales en Chile, una velocidad promedio de 80 Km/hora es suficiente.

**b) Avenidas arteriales.** En estos casos se supondrá como velocidad de recorrido para los autos 50 Km/hora y para los buses, 40 Km/hora.

**c) Calles de zonas céntricas.** En el caso de las calles pertenecientes al centro de las ciudades, se debe reducir las velocidades de recorrido a 30 Km/hora para los autos, y a 25 Km/hora para los buses.

**d) Vías colectoras y locales.** En estos casos las velocidades que deben asumirse son de 40 Km/hora para los autos, y de 32 Km/hora para los buses.

**5.3.4.3 Proyectos sin reasignación pero con ensanche.** En este caso, se estimará a partir de relaciones flujo-velocidad que pueden ser calibradas a partir de la situación actual. Para esto se puede ocupar una relación del tipo:

$$V = a - c/(w - p) - (bq)/(w - p) \quad (5.4.3 - 1)$$

En que

V = velocidad en Km/hora

w = ancho en metros

p = reducción del ancho efectivo debido a los autos estacionados

q = flujos en veh/hora

a, b, c = parámetros

El primer término de esa relación puede entenderse como la velocidad que tendrían los vehículos en una calle de ancho infinito y ocupación nula. El segundo y tercer término explican la reducción de la velocidad por el efecto ancho y por efecto de ocupación de la vía por otros vehículos. El cambio de velocidad por efecto de los ensanches no puede ser calibrado obviamente en una misma vía, por lo que se asumirá  $c = 70$ . Los parámetros "a" y "b" pueden ser estimados a partir de algunas mediciones. Los pasos a seguir en este proceso son los siguientes:

- Se toman muestras de velocidades conjuntamente con los flujos en el proceso de recolección de antecedentes de tránsito.
- Con los pares (V,q) se procede a ajustar por el método de los mínimos cuadrados, rectas del tipo:

$$V = a - 70/(w - p) - bq/(w - p) \quad (5.3.4 - 2)$$

- En principio se debería ajustar curvas para los dos sentidos, para los diferentes periodos del día y para autos y locomoción colectiva.
- Se recomienda que el muestreo de velocidades sea hecho para cuatro vehículos durante periodos de 15 minutos. Ese muestreo comprenderá la medición del tiempo

de recorrido incluyendo detenciones para el tramo en estudio. La velocidad resultará del cociente entre la longitud en estudio y el tiempo empleado.

- Para un ancho constante la ecuación que se ajusta representa una relación lineal entre la velocidad y la llamada algunas veces "tasa de ocupación de la vía" ( $q/(w - p)$ ). La ecuación se empleará para predecir los valores de la velocidad cuando el ancho crezca (con  $q = q_0 = \text{constante}$ ). Sin embargo este crecimiento no puede ser introducido en el proceso de calibración, por lo que se sugiere usar el conocimiento adquirido de variaciones de los valores de  $q$  (dejando  $w = \text{constante}$ ) a fin de calibrar "a" y "b". A fin de asegurarse que la relación a calibrar será utilizada para valores de las variables que estén dentro de los usados en la calibración se propone ajustar la fórmula considerando distintos flujos (equivalentes) ( $q_i$ ) en la situación actual (ancho =  $w_0$ ) de modo que la ocupación esté en el intervalo  $[q_0 / (w_0 + \delta w - p) \text{ y } q_0 / (w_0 - p)]$ . Los valores del rango especificado corresponden a medidas de la así llamada "tasa de ocupación de la vía" en la situación inicial y final respectivamente. De esta manera, de los distintos flujos muestreados se deberán seleccionar aquellos que estén en los siguientes rangos:

Para el periodo de punta.

$$q^p = (w_0 - p) / (w_0 - p + \delta w) < q^i < q^p \quad (5.3.4 - 3)$$

Para el periodo fuera de punta:

$$q^{np} = (w_0 - p) / (w_0 - p + \delta w) < q^i < q^{np} \quad (5.3.4 - 4)$$

en que

$q^p$  = flujo promedio periodo punta

$q^{np}$  = flujo promedio periodo fuera de punta

Hay que hacer notar que los  $q^i$  y sus respectivas velocidades no necesariamente deben pertenecer al periodo del día (punta o no punta) para el cual se desea ajustar la recta.

- Finalmente los valores de "p" pueden ser obtenidos a partir de la siguiente tabla:

**TABLA 5.3.4 (1)**  
**EFFECTO DEL ESTACIONAMIENTO DE VEHICULOS EN EL ANCHO**  
**EFFECTIVO DE LAS CALLES**

Número de vehículos estacionados por km. (1)	Reducción efectiva del ancho de la calle (metros)
3	0,9
6	1,2
19	1,8
31	2,1
63	2,6
125	3,0
316	3,7

(1) si la vía es de un solo sentido se debe tomar en cuenta los vehículos estacionados a ambos costados de ella. Si es bidireccional, cada sentido debe ser analizado separadamente, y como consecuencia en este caso sólo se contabilizarán los autos estacionados al lado respectivo.

Con las fórmulas anteriores se podrá estimar las velocidades medias en la vía con y sin mejora para los diferentes periodos y tipos de vehículos.

**5.3.4.4 Proyectos con reasignación.** En este caso, se presentan dos tipos de arcos en la red considerada. Por una parte los arcos en que los tiempos serán fijo, para lo cual puede emplearse la definición de velocidades según tipo de calles si es que no se dispone de antecedentes de terreno (acápite 5.3.4.2 de este Manual). Por otra parte para los otros tipos de arcos, lo que corresponderá será emplear las relaciones flujo velocidad de SATURN, que han sido calibradas y validadas para el caso chileno, en el Estudio Estratégico de Transporte Urbano de Santiago (ESTRAUS).

## **PARTE II**

### **ANTEPROYECTO Y SIMULACION DE ALTERNATIVAS**

## **CAPITULO 6: ANTEPROYECTO FISICO**

### **SECCION 6.1: TRAZADO GEOMETRICO**

#### **6.1.1 TRAZADO EN PLANTA**

**6.1.1.1 Punto de partida y objetivo.** El trazado geométrico a nivel de anteproyecto parte de una composición gráfica de los elementos constitutivos de la plataforma vial, producida según lo expuesto en Acápite 4.1.3 Prediseño Físico. El objetivo de las tareas que a continuación se especifican es la definición matemática de dicha composición gráfica, de modo que sea posible calcular -y replantear- coordenadas  $[x; y]$  de cualquier punto de las superficies vehiculares contempladas, y dibujar los elementos viales de dicho prediseño a partir de la referencia confiable que brinda un conjunto de ejes de replanteo analíticamente definidos.

**6.1.1.2 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 como el sistema de ejes de replanteo más útil al objetivo planteado en el párrafo anterior (6.1.1.1), o ajustado para facilitar la aplicación de los métodos de cálculo matemático que se dispongan.

**6.1.1.3 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.

**a) 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 en definitiva se considerarán como tales serán los límites de las faenas de construcción de las calzadas asociadas a dicho eje. Estos pueden ser los puntos de borde aludidos en 5.1.2.6.c u otros,

dependiendo ello del alcance que a la postre 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. Origen y final se eligen en concordancia con el sentido del movimiento vehicular, si la calzada asociada al eje que se define es unidireccional, y de acuerdo a las convenciones de dibujo (izquierda → derecha, arriba → abajo) en los demás casos.

**b) Punto de tangencia entre alineaciones.** La posición aproximada de los puntos de tangencia entre las alineaciones rectas, circulares y de transición, ha sido determinada gráficamente en la etapa de prediseño. Corresponde al nivel de anteproyecto el cálculo de las coordenadas de tangencia [x;y]. Ver 3.501.1 de las REDEVU.

**6.1.1.4 Representación matemática de los ejes de replanteo.** El consultor debe hacer los cálculos que le permitan entregar, para cada uno de los ejes de replanteo, los datos que a continuación se describen.

**a) Distancia al origen (DO) de los puntos singulares.** Longitud desde el inicio del eje de replanteo hasta el PS en cuestión, en metros y con tres decimales. La DO de un PS será la suma de los desarrollos de las alineaciones comprendidas entre él y el origen del eje, y la diferencia entre las DO de los puntos finales e iniciales corresponderá al largo total de un eje de replanteo.

**b) Coordenadas de los puntos singulares.** Abscisa y ordenada [x;y] de cada PS, relativas o referidas a coordenadas oficiales, con tres decimales.

**c) Acimut de los ejes en puntos singulares.** Angulo dextrógiro comprendido entre el norte (eje de las ordenadas) y la tangente al eje de replanteo en cada PS; en grados centesimales y con cuatro decimales.

**d) 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 -respectivamente- la variación del acimut 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.

**e) 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).

**6.1.1.5 Validación de los ejes de replanteo.** Las coordenadas de los PS deben trasladarse a la planta topográfica, con el fin de dibujar los ejes de replanteo con la nueva y mayor precisión que cálculo matemático permite. Si se detecta que las variaciones de posición del eje, con respecto al prediseño, invalidan la idea original, se realizarán los ajustes correspondientes. Esta validación puede requerir dibujar los bordes que completan la definición de las calzadas, en los casos en que la posición de estas presente dificultades.

**6.1.1.6 Configuración de calzadas.** Los bordes de calzadas que junto a los ejes de replanteo completan la representación de las mismas deben ser dibujados a partir de estos últimos, de acuerdo a las secciones tipo de anteproyecto y contemplando las modificaciones al ancho de calzada y los dispositivos especiales que el diseño prevea. Ver párrafos 6.1.17 en este acápite y 3.502.204 de las REDEVU.

**6.1.1.7 Configuración de otros elementos de la plataforma vial.** La posición y/o forma de todos los elementos urbanos objeto de diseño o modificaciones en el transcurso del estudio son resultado del trazado de las calzadas o deben adaptarse a ellas. Estos elementos, individualizados en las REDEVU con los mismos nombres aquí utilizados,

deberán diseñarse de acuerdo a lo allí recomendado (ver 1.2.4.4 y 11.1.4.4). Cuando aparezcan configuraciones especiales que no estén contempladas en dichas recomendaciones, o cuando se proponga una geometría en planta distinta de lo sugerido en las REDEVU para algún elemento de la plataforma vial, se deberá abundar sobre el particular con detalles en planta que describan cabalmente tales modificaciones.

**6.1.1.8 Veredas y ciclovías.** La continuidad de las vías peatonales y cicloviales (ciclobandas y ciclopistas).debe ser asegurada y las superficies destinadas a tal uso distinguidas mediante los recursos gráficos consignados en la Tabla 11.1.1 (IV). En caso de no existir ciclovias en la zona del estudio, se deberá considerar la factibilidad geométrica de incorporarlas al anteproyecto, de modo que éste no coarte innecesariamente esta posibilidad.

**6.1.1.9 Intersección de ejes.** Las coordenadas [x;y] de las intersecciones de los ejes de replanteo deben ser calculadas, con los fines de establecer las DO 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.

**6.1.1.10 Diagramas de curvaturas y peraltes.** Se deberá completar la descripción gráfica del trazado en planta 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.

**6.1.1.11 Puntos de perfiles (PP).** El consultor 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 en la siguiente etapa del trazado geométrico (ver 6.1.2).

**6.1.1.12 Datos de replanteo.** Una vez consolidada la definición analítica del eje, y tanteada su factibilidad en elevación, el Consultor debe generar un listado de datos de replanteo. Para ello debe definir un conjunto de puntos de terreno (vértices de la poligonal más puntos auxiliares), cuyas coordenadas [x;y] deben ser replanteables, y referir cada PP a un par conveniente de dichos puntos (“base de replanteo”), mediante la explicitación de los datos del triángulo formado por dicho PP y la base de replanteo elegida para la triangulación.

**6.1.1.13 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 giro, estacionamientos aislados, ensanches y reducciones en general...), deben quedar descritas por las correspondientes referencias a las REDEVU y/o por los detalles gráficos que se requieran para ello.

## **6.1.2 TRAZADO EN ELEVACION**

**6.1.2.1 Replanteo de ejes.** El punto de partida del trazado en alzado -o elevación- consiste en el replanteo en terreno de los ejes en planta; esto es, el estacado de sus PP (ver 6.1.1.11), utilizando para ello los datos de replanteo correspondientes (ver 6.1.1.12).

**6.1.2.2 Perfiles de terreno.** Para cada eje en planta replanteado se deberá obtener un perfil longitudinal, con cotas relativas u oficiales para cada uno de sus PP, y perfiles transversales basados en estos PP que cubran la franja topografiada (ver 11.1.2.2f).

**6.1.2.3 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 tópico 3.501.3 de las REDEVU. La finalidad de tal procedimiento es acotar verticalmente los PP 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.

**6.1.2.4 Perfiles transversales de anteproyecto.** La representación en elevación debe perfeccionarse con la confección de perfiles transversales de las calzadas proyectadas, cada 20 metros, basados en los perfiles de terreno levantados para tal efecto en cada uno de los PP calculados. Estos perfiles transversales deben ser consistentes con los anchos de calzada y pendientes transversales calculados para cada PP y que son materia de los diagramas de peralte indicados en el párrafo 6.1.1.10.

## SECCION 6.2: URBANISMO Y AMBIENTE

### 6.2.1 CARACTERIZACION DE LAS INTERFERENCIAS

**6.2.1.1 Generalidades.** Los proyectos que interfieran o transformen los elementos de calidad ambiental presentes en la ficha 11.1.2 (III), requerirán una caracterización del grado de la interferencia o transformación. Esta caracterización estará orientada a cuantificar los cambios involucrados por el anteproyecto en los elementos referidos y se desarrollará en los siguientes aspectos.

**6.2.1.2 Personas afectadas.** En el caso en que los prediseños impliquen afección a las propiedades, la información de carácter físico señalada en el acápite 5.1.3 deberá ser acompañada de una descripción de las actividades que tienen lugar en esos locales. Esta información deberá incluir el número de grupos familiares y empleados afectados, si las expropiaciones afectan a lugares de trabajo y de empleo, respectivamente.

**6.2.1.3 Superficies de la plataforma pública afectas a cambios de uso.** Los anteproyectos que impliquen afección a la propiedad o modifiquen la superficie de los espacios destinados a los peatones deberán indicar el destino final que se dará a estos terrenos, particularmente en aquellos casos en que su habilitación implique costos que deban incorporarse al proyecto, como es el caso de terrenos expropiados que deban conformarse como áreas verdes, o en el caso contrario, la eliminación de áreas verdes que pasan a ser ocupadas por la infraestructura proyectada.

**6.2.1.4 Descripción de las especies vegetales afectadas.** Se deberá entregar una relación de número, tipo y tamaño (altura y diámetro de copa) de las especies vegetales importantes que se vean afectadas.

**6.2.1.5 Mediciones especiales.** Cuando el prediseño afecte el entorno de la plataforma vial, perjudicando circulaciones peatonales importantes o forzando modificaciones de la

oferta de estacionamientos, se deberá efectuar mediciones o encuestas que permitan incorporar tales factores, de la manera más objetiva posible, al análisis y discusión de los prediseños.

**6.2.1.6 Intrusión visual.** En aquellos casos en que se contemplen pasos elevados u otras estructuras que alteren la visión del paisaje o las proporciones del espacio urbano en que se desarrolla el proyecto, se deberá producir perspectivas adecuadas para la estimación de tales alteraciones, maquetas u otros antecedentes que permitan apreciar y calificar la magnitud y naturaleza del cambio introducido (ver 11.1.4.14).

## **6.2.2 ESTIMACION DE COSTOS DE EXPROPIACION**

**6.2.2.1 Identificación de propiedades afectadas.** Cuando los prediseños 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 ocular 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 preciso establecer las superficies de terreno y las superficies edificadas que serán objeto de expropiación (ver Ley de Expropiaciones). Además deberá consignarse para cada propiedad la calidad y tipo de edificación.

**6.2.2.2 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 el valor de la tasación fiscal y el valor de mercado. Este último, a su vez, es deducible de la comparación entre transacciones realizadas en fecha reciente en el área de estudio con su respectivo avalúo fiscal, teniendo en cuenta que si los valores de referencia corresponden a terrenos de dimensión o forma muy diferentes, deberá considerarse correcciones adicionales, que pueden ser las establecidas en las tasaciones de los bancos comerciales, según lo detallado en los literales que siguen. Otra fuente de información podrá ser la que manejan las oficinas de corretaje de propiedades.

**a) Valor de tasación.** Comparación con el valor de mercado de terrenos que presentan características similares.

**b) Recargo por esquina.** Los terrenos en esquina tendrán los siguientes incrementos según tipo de barrio.

<b>Tipo de Barrio</b>	<b>Incrementos</b>
Residencial de construcción continua	15 %a 20 %
Residencial de construcción aislada	5 %a 15 %
Comercial de segunda clase	20 % a 25%
Comercial importante	25 % a 40 %
Comercial central	60 % a 80 %

**c) Recargo por enfrentar áreas verdes.** La tasación de los terrenos de barrios residenciales que enfrenten áreas verdes tendrán los siguientes incrementos:

<b>Tipo de Construcción</b>	<b>Incrementos</b>
Construcción continua	15 %a 20 %
Construcción aislada	5 %a 15 %
Construcción en altura	20 %

**d) Recargo o desvalorización según características viales.** La tasación se verá afectada por la calidad de la red vial según los siguientes factores y relaciones.

Sitio colindante con calle Local, arborizada, veredas amplias	+5 %
Sitio cercano pero no vecino a vía	
Troneal expedita	+10 %
Ambas cosas	+15 %

**e) Desvalorización por dimensiones y proporciones.** Un sitio rectangular de lado mayor “a”, lado menor “b”, frente “f”, fondo “g” y superficie “f g” se desvaloriza, cuando sus dimensiones y/o proporciones difieren de las del sitio típico de la zona (lado mayor “A”, lado menor “B”, frente “F”, fondo “G” y superficie “FG”), de la siguiente manera.

**Relaciones entre Dimensiones**

$$F - F/20 \leq f \leq F + F/20 \text{ y}$$

$$G - G/20 \leq g \leq G + G/20$$

$$F \leq f \leq F + F/4$$

$$F \leq f \leq F + F/4$$

$$g \leq G$$

**Desvalorización**

$$0 \%$$

$$50(f - F) / F \%$$

$$100(F - f) / F \%$$

$$50\% \text{ sobre } (fg - FG)$$

**g) Desvalorización por forma.** Si el sitio es trapezoidal, con mayor ancho interior, se aplica un 1% de desvalorización a la superficie que excede la superficie típica, por cada 1% de mayor ancho respecto al terreno tipo. Si el sitio tiene forma de martillo, con parte ancha interior, se aplica un 25% de desvalorización a la superficie que excede la superficie típica.

**h) Recargo o desvalorización por ubicación en pasaje.** Los terrenos ubicados en un pasaje o “cul de sac”, como resultado de loteo o subdivisión de terrenos de gran superficie, se desvalorizan de la siguiente manera.

<b>Ubicación del Sitio en Pasaje</b>	<b>Desvalorización</b>
Frente a calle primitiva	0%
Esquina de cul de sac	2% de incremento por cada metro de exceso sobre 5 m. de ancho de dicha calle, con máximo de 10%.
Con frente de 8 metros al cul de sac	30% el primero después de la esquina y 2% cada lote adicional, hasta 40%.
Con frente al cul de sac < ó > que 8 m	La desvalorización anterior se aumentará o reducirá en 2% por cada metro de menor o mayor ancho, con mínimo de 25% y máximo de 40%.

**6.2.2.3 Valor de la edificación.** Para establecer el valor de expropiación de un edificio, se procederá a identificar las características del mismo (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 el edificio en el momento de la tasación. Para ello, conociendo las características descritas más arriba, se puede acudir a tablas de precios globales por  $m^2$  disponibles en Municipalidades, MINVU y bancos comerciales (ver 6.2.2.5). Conocido el valor de reposición se estima la antigüedad del edificio y se aplica el coeficiente de depreciación por antigüedad que, a falta de una información particularizada, podrá ser alguno de los de la tabla 6.2.2 (V). Fuera de la antigüedad existen otros factores o criterios de depreciación, como el estado de conservación y la ubicación respecto a su entorno o barrio (ver 6.2.2.5 y Manual de Tasaciones del MINVU). Dado que normalmente el valor de la tasación (terreno + edificio) está por debajo del valor comercial (valor de oportunidad), el criterio general de la tasación para los efectos de este tipo de aplicaciones debiera ser el de lograr una estimación del precio total justo, entendiendo por tal aquél que permita al expropiado reponer su bien en condiciones semejantes a las del bien expropiado.

**6.2.2.4 Normalización de criterios para tasaciones inmobiliarias.** A continuación se tabulan los criterios para estas tasaciones utilizados a la fecha por las oficinas de tasaciones de bancos comerciales.

**TABLA 6.2.2 (I)**  
**CRITERIOS DE VALORIZACION DEL TERRENO SEGUN**  
**RELACION ENTRE FRENTE-FONDO**

Relación Frente : Fondo	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5
Coefficiente (*)	1,00	1,00	0,90	0,70	0,50

(\*) El coeficiente se aplica a las diferencias progresivas respecto de cada relación.

**Tabla 6.2.2 (II)**  
**CRITERIOS DE VALORIZACION DE EDIFICIOS HABITACIONALES**  
**DE 1, 2, 3 Y 4 PISOS**

**SEGUN CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS**

<b>Tipo/Calidad</b>	<b>Especificaciones</b>	<b>Precio Base en UF/rn 2</b>
Minima	Sin pinturas Piso radier Sólo 2 ó 3 puertas	8,07
Económica	Pinturas Pavimentos flexit o baldosas Tabique volcanita	12,60
Media	Estucos Pavimentos madera o flexit Artefactos sanitarios nacionales Agua caliente	15,75
Alta	Ventanas de aluminio Revestimientos exteriores de piedra o cerámica Artefactos sanitarios importados Pavimentos, parquet, cerámica, alfombra Calefacción	20,50
Lujo	Igual a la categoría Alta Terminaciones sofisticadas	24,20

**TABLA 6.2.2 (III)**

**FACTORES DE ALTURA (\*)**

Tramo (pisos)	5 - 7	8 - 12	13 - 17	18 - 26	> 26
Factor	1,00	1,15	1,20	1,25	1,30

(\*) Los factores se aplican a los valores de la Tabla 6.2.2 (II) y consideran el mayor valor de las estructuras y del equipamiento. Estos valores pueden variar en  $\pm 5\%$

**Tabla 6.2.2 (IV)**

**CRITERIOS DE VALORACION DE EDIFICIOS INDUSTRIALES  
SEGUN CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS**

Tipo/Calidad	Especificaciones	Precio Base en UF/m <sup>2</sup>
De primera	Hormigón armado Pretensados Techumbre metálica Cubierta asbesto cemento o metálica Pavimentos Muros pavimentados de albañilería reforzada estucados	5,0 a 9,0
De Segunda	Estructuras metálicas o de maderas laminadas Muros pavimentados de asbesto, cemento o metálicos Techumbre metálica Cubierta asbesto cemento Piso de radier	2,5 a 4,0
De Tercera	De madera con o sin muros pavimentados Pisos tierra o pastelones Techumbre de madera Cubierta asbesto cernento o fonolita	1,2 a 2,5

**TABLA 6.2.2 (V)**

**COEFICIENTES DE DEPRECIACION**

Tipo de estructura	Antigüedad [años]							
	10	20	30	40	50	60	70	80
Hormigón Armado	0,85	0,70	0,50	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Albañilería reforzada	0,80	0,60	0,45	0,35	0,30	0,25	0,20	
Albañilería armada	0,80	0,60	0,40	0,30	0,25	0,20	0,15	
Acero en albañería	0,70	0,55	0,40	0,30	0,25	0,20	0,15	
Madera impregnada	0,70	0,40	0,25	0,15				
Madera sin impregnar	0,20	0,00						
Adobe	0,80	0,55	0,25	0,00				

## SECCION 6.3: FIRMES

### 6.3.1 ASPECTOS GENERALES

**6.3.1.1 Alcance.** El diseño del firme corresponde a la definición de las características y espesores de las capas ubicadas sobre la subrasante que configuran el pavimento. El alcance de esta metodología no pretende cubrir los detalles del diseño propiamente tal, por lo que en los puntos siguientes se establece una pauta general de los aspectos a ser considerados durante la definición del anteproyecto.

**6.3.1.2 Soluciones de diseño.** 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 repavimentaciones y pavimentos nuevos, según se aproveche o no la carpeta de rodado actualmente en uso, o en el caso de no existir (como ocurre con los ensanches y habilitaciones de nuevas vías). Puesto que el primer caso corresponde a un problema de gran importancia en el caso de vías urbanas, el diseño estructural de los pavimentos involucrados debe ser tratado según una metodología específica. Esta Sección se limita a desarrollar en forma somera los aspectos generales de diseño de pavimentos nuevos.

**6.3.1.3 Niveles de detalle.** Los antecedentes necesarios para el diseño del firme estarán disponibles sólo para la etapa de anteproyecto. Por tal razón, en la etapa de prediseño se deberá efectuar una estimación de los espesores de las capas que compondrán dicho firme, ya sea sobre la base de los antecedentes disponibles o, en su defecto, por asimilación a las capas existentes en el sector en estudio.

## **6.3.2 DISEÑO DE PAVIMENTOS**

**6.3.2.1 Factores de diseño.** Los requerimientos básicos de información para proceder al diseño mismo de las capas estructurales que componen el firme, se detallan ampliamente en las normas contenidas en el Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad, 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.

**6.3.2.2 Diseño de pavimentos flexibles.** Los procedimientos de diseño de pavimentos flexibles considerarán los correspondientes al método AASHTO descrito en los documentos indicados en el párrafo 6.3.2.1.

**6.3.2.3 Diseño de pavimentos rígidos.** 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 este último caso se deberá incorporar el Análisis de Erosión descrito en el Volumen IV del “Curso Laboratorista Vial”, del Laboratorio Nacional de Vialidad (1985).

## SECCION 6.4: REPOSICION DE SERVICIOS

### 6.4.1 ASPECTOS GENERALES

**6.4.1.1 Objetivos.** 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.

**6.4.1.2 Nivel de detalle.** 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 dársele especial importancia a 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.

**6.4.1.3 Importancia de la actividad.** La importancia de esta actividad en el conjunto de tareas que debe abordar el proyectista no debe ser menospreciada, pues es común observar, en la práctica, diferencias apreciables en la ubicación real de los servicios subterráneos y en los montos de inversión presupuestados, en relación a los costos reales de construcción de las obras. Considerando las disímiles características de cada servicio, éstos deben ser tratados en forma diferente, enfatizando el análisis de soluciones en aquellos que comprometen la definición geométrica de las obras viales.

## **6.4.2 ANTEPROYECTOS A DESARROLLAR DENTRO DEL ESTUDIO**

**6.4.2.1 Criterio de diseño.** 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. Estas últimas deberán quedar explícitamente identificadas mediante cubicación y presupuestos diferenciados del resto de las modificaciones.

**6.4.2.2 Alcantarillado de aguas lluvias y aguas servidas.** La identificación de las interferencias entre las distintas obras anteproyectadas y las redes subterráneas de los servicios existentes surgen de la comparación de la monografía correspondiente con la planta y alzado del prediseño en elaboración. Esta interferencia puede abarcar desde la modificación de altura de las cámaras hasta el cambio de trazado de un tramo o más 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.

**a) Planta.** 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, haciendo hincapié en 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.

**b) Alzado.** En alzado, se deberá 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. En estos se deberá agotar las instancias de resolver 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.

**6.4.2.3 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 misma consultará generalmente ya sea el traslado de una o más tuberías y/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 consultarse algún refuerzo, este se incluirá en dicho perfil. Los detalles mínimos que deberán incluirse en la memoria o 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.

**6.4.2.4 Canales.** Aquellos canales que interfieran con las obras contempladas en el anteproyecto requerirán modificaciones de su trazado en planta y alzado, o bien ser reacondicionado 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 incluirán, 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.

### **6.4.3 ANTEPROYECTOS EJECUTADOS POR LAS COMPAÑÍAS**

**6.4.3.1 Generalidades.** Las eventuales modificaciones o reposiciones de los servicios de electrificación, gas y teléfonos, cuyo anteproyecto es desarrollado por las compañías que los administran, será solicitado a ésta junto con el envío de los antecedentes de la(s) alternativa(s) que habrán de ser desarrollados a nivel de anteproyecto.

**6.4.3.2 Presupuestos.** Los presupuestos de obra, que también serán objeto de la solicitud mencionada en el párrafo anterior, deberán permitir el desglose de cada ítem en los componentes necesarios para posteriormente estimar los montos sociales de inversión.

## SECCION 6.5: ESTRUCTURAS

### 6.5.1 ASPECTOS GENERALES

**6.5.1.1 Alcances.** Se considerarán como puentes y pasos aquellas estructuras que posean una luz libre superior a 6 m. El anteproyecto de dichas obras figurará en los planos de detalle del trazado tanto en planta como en alzado. Sin embargo se presentará además como un anteproyecto independiente a escalas mayores, según se indica en el párrafo 11.1.4.4.

**6.5.1.2 Objetivos.** El diseño físico de las estructuras contenidas en el anteproyecto (puentes, pasos y muros) tiene como objetivos principales definir su geometría y constitución material, para efectos descriptivos y de cubicaciones y presupuesto, y también garantizar la factibilidad técnica de la solución adoptada.

## **6.5.2 DISEÑO DE ESTRUCTURAS**

**6.5.2.1 Antecedentes.** Los estudios básicos necesarios en relación a la topografía requerida en estos casos, ya han sido detallados en el párrafo 5.1.2.13. 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 5.1.5 se describe los antecedentes básicos a relevar en el caso de la mecánica de suelos.

**6.5.2.2 Luces libres.** Bajo estructuras, las calzadas deberán contemplar espacios libres, tanto en sentido horizontal como vertical, según lo expresado en el Tópico 3.502.7 de las REDEVU.

**6.5.2.3 Diseño estructural.** 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. Para efecto del anteproyecto de estructuras, se desarrollará 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. En tal sentido, la presentación de alternativas que combinen el número de tramos con las alturas de viga y tablero, se considera como un elemento importante en el momento de decidir la solución más económica factible.

**6.5.2.4 Cubicaciones.** El nivel de detalle del diseño físico deberá permitir definir y ubicar los materiales básicos involucrados a la obra, tanto en infraestructura como en superestructura.

## **CAPITULO 7: ANTEPROYECTO OPERACIONAL**

### **SECCION 7.1: CONSIDERACIONES GENERALES**

#### **7.1.1 DEFINICIONES**

**7.1.1.1 Contenido del diseño operacional.** Consiste en especificar las condiciones de uso de la vialidad, es decir, determinar un conjunto de regulaciones que constituye el sistema de control del tránsito. Estas regulaciones deben ser comunicadas eficientemente a los usuarios, mediante un sistema de información que abarca señales, marcas y otros dispositivos. Que las regulaciones sean respetadas no puede darse por hecho; evidentemente, si están bien concebidas y apoyadas por una correcta información es más probable que así suceda. Pero siempre hay usuarios para los cuales es beneficioso contravenir las reglas dispuestas, lo que hace necesario un sistema complementario de fiscalización. En rigor, el diseño operacional cubre los tres sistemas mencionados, ya que la armonía entre ellos es crucial en orden a que las condiciones de uso especificadas correspondan a las reales. No obstante, en esta etapa de anteproyecto se establecen requerimientos diferenciados al respecto según el tipo de proyecto, que son detallados en el acápite 7.1.2.

**7.1.1.2. Alcance del anteproyecto.** Aunque esta actividad se refiere al uso de la vialidad disponible, puede conllevar modificaciones menores al diseño físico establecido. El propósito que se persigue es obtener las mejores condiciones de circulación, dadas la infraestructura y las demandas que soporta, de acuerdo con los objetivos del proyecto. Las características físicas varían entre alternativas de diseño y las demandas lo hacen en el tiempo para cada alternativa y entre éstas, si hay reasignación. Luego, se requiere un anteproyecto operacional para cada período de cada corte temporal de cada situación a simular. En algunos de éstos se cuenta con un prediseño utilizado en la selección de alternativas, que servirá de base. El anteproyecto debe procurar corregir deficiencias detectadas en el prediseño y cubre todo el área de influencia, lo que no ocurre

necesariamente en aquél. Además, se contempla el desarrollo de esquemas de operación para el período de ejecución de las obras derivadas de cada alternativa. Finalmente, hay que advertir que en esta versión del Manual no está incorporado un tratamiento específico de la operación del transporte público.

**7.1.1.3 Regulaciones.** Incluyen medidas de carácter puramente operacional y otras que implican rediseños geométricos de menor cuantía, por cuyo intermedio se puede ejercer control sobre el uso de vías e intersecciones. Su necesidad deriva de la existencia de conflictos entre usuarios que no pueden ser adecuadamente resueltos por decisiones individuales de ellos mismos. El tratamiento de los conflictos conlleva el manejo de variables como las indicadas a continuación.

**a) Vías.** Se puede controlar el acceso a ellas y el modo de utilizarlas a través de:

- fijación del sentido de tránsito;
- restricción de ingreso, para tipos de usuario determinados (restricción física) o estableciendo tarifas (restricción económica);
- imposición de límites de velocidad;
- autorización de maniobras: adelantamiento, virajes en U;
- asignación de pistas de circulación: por sentido, si es doble, o reversible, y por tipo de usuario (pistas exclusivas para buses o bicicletas, calles peatonales, etc.);
- regulación de operaciones terminales: estacionamiento, carga, descarga y paradas de transporte público.

**b) Intersecciones.** Las variables principales de control son:

- forma de control: señal de prioridad, rotonda, semáforo;
- autorización de movimientos: en particular, virajes y cruces peatonales;
- asignación de capacidad: uso de pistas por movimiento, elección de vía prioritaria o programación del semáforo.

**c) Aspectos geométricos.** La aplicación de ciertas técnicas de control requiere ser acompañada de cambios al diseño físico para instalar los dispositivos correspondientes. Entre ellos destacan:

- modificaciones del ancho de la vía en la zona de intersección: ensanche para acomodar pistas especiales de viraje de corta longitud, angostamiento para restringir el estacionamiento en la calzada y/o facilitar la circulación peatonal;
- modificaciones al alineamiento para adecuarse a la trayectoria natural de ciertos movimientos, para separar conflictos en intersecciones complejas o con fines de mejorar la visibilidad para reducir accidentes;
- modificaciones a la carpeta de rodado, sea para aumentar capacidad o seguridad, sea para inducir reducciones de velocidad (lomos de toro, elementos vibratorios);
- canalización. islotes para orientar trayectorias y proteger a ciertos usuarios (especialmente peatones) u otros elementos segregadores para formalizar pistas exclusivas o bien delimitar áreas para operaciones terminales (bahías o andenes para buses, “peinetas” para estacionamiento).

Todas estas variables de control, incluida la geometría detallada, están **siempre** definidas, explícita o tácitamente. En particular, lo están en la situación actual por lo que el diseño operacional de la situación base o de una alternativa implica cambios a lo existente, salvo cuando aparece nueva infraestructura. Por otra parte, algunas de las variables pueden tener una especificación permanente y otras, una dependiente del tiempo. Lógicamente, los aspectos geométricos son de tipo permanente pero los operacionales pueden, casi sin excepción, ser de una u otra clase.

**7.1.1.4 Consecuencias de la regulación.** Las condiciones de uso, junto a la infraestructura vial disponible, determinan el valor pertinente de los parámetros característicos de los elementos de las redes a simular. Esto es, capacidades, velocidades y longitudes de recorrido. En proyectos con reasignación de flujos, influirán sobre las rutas que estos siguen y, por lo tanto, en la magnitud del flujo en cada elemento. En definitiva,

la cantidad, tipo e intensidad de los conflictos que se producen en la red son función del diseño operacional, a través de los parámetros citados. Ello repercute en la estimación de impactos.

**7.1.1.5 Problema general del diseño operacional.** Desde un punto de vista teórico, dado el patrón de flujos y la vialidad, se trata de encontrar condiciones de uso óptimas en términos de los impactos. Sin embargo, la gama de medidas operacionales posibles es surtida y si se agrega la facultad de hacerlas variar en el tiempo, como ocurre con los flujos, el espacio de soluciones factibles en una red resulta sumamente extenso. Más aun, hay variables de control de naturaleza discreta y continua y modificaciones a ellas en un punto afectan a otros. Una optimización relativamente formal sería entonces una tarea de enorme envergadura, especialmente cuando se considera reasignación. De aquí que sea necesario acotar el alcance de la optimización y combinar la perspectiva de conflictos locales con una visión coherente de red. Esto supone, en primer lugar, definir una estrategia para el tratamiento de conflictos similares en diversos puntos, concordante con los objetivos del proyecto (por ejemplo, priorización de ciertos usuarios). A la luz de esta estrategia han de encararse los problemas locales. Este es el equivalente de los conceptos de acciones primarias y secundarias, expuestos en el párrafo 4.1.2.3. Segundo, hay que definir qué variables de control se tomarán como permanentes. Tercero, cuáles serán de optimización explícita. Estas decisiones dependen del tipo de proyecto y el acápite 7.1.2 entrega recomendaciones al respecto.

**7.1.1.6 Relación con el diseño físico.** El espacio en que se producen los conflictos es precisamente la infraestructura disponible. Los impactos en que se basa la evaluación de un proyecto son un resultado conjunto de ella y 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, puede llevarse a cabo una vez simulada cada alternativa, introduciendo los ajustes mutuos. Ellos, lógicamente, no pueden exceder los límites de los parámetros que caracterizan la alternativa.

**7.1.1.7 Relación con la simulación.** Aunque en la concepción de la regulación se use un método relativamente estructurado y apoyado por el diagnóstico y la estimación preliminar de impactos, ella envuelve 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 hacer esa apreciación. 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.

**7.1.1.8 Síntesis para la remodelación.** Definidas las medidas que constituyen el diseño operacional para cada alternativa, se procede a modelar las redes correspondientes que serán simuladas, siguiendo las indicaciones del Capítulo 8. 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. Deberá confeccionarse una Tabla en que se resuman estos cambios, indicando para cada movimiento afectado que ha variado: su longitud y ruta de recorrido, factores que influyen sobre la velocidad, la capacidad o la seguridad y cuáles son. Asimismo, si los cambios son o no constantes entre períodos. Particular atención debe prestarse a movimientos que participan en conflictos típicamente agudos: virajes con oposición, paradas de buses con alta fricción, cruces con escasa visibilidad.

## **7.1.2 TRATAMIENTO SEGUN TIPO DE PROYECTO**

**7.1.2.1 Proyectos de infraestructura sin reasignación.** El anteproyecto operacional contemplará el sistema de control y las señales y demarcaciones básicas; no se requiere entrar en detalle sobre el sistema de información ni considerar la fiscalización. Para el sistema de control se tendrá como referencia el prediseño operacional de los períodos punta. Habrá que afinarlo a la luz de la estimación preliminar de impactos y extenderlo a los demás períodos, manteniendo el esquema fijado. Sólo será dependiente del período la programación de los semáforos, excepto el diseño de fases y entreverdes, la que deberá ser optimizada para la red. También deben ser objeto de optimización las acciones secundarias que signifiquen cambios a la geometría (por ejemplo, determinar la longitud adecuada de una pista corta especial para un viraje a la izquierda). Los flujos de diseño para cada movimiento serán los estimados para el período y corte temporal correspondientes, a menos que las medidas previstas impliquen reruteos. En este caso, se estimarán los flujos con métodos sencillos a partir de las matrices origen-destino actuales, generadas con los procedimientos descritos en el párrafo 2.4.1.2. En general, la estrategia de operación para cada alternativa será la misma de la situación base, introduciendo sólo cambios locales convenientes para aprovechar la nueva infraestructura ofrecida. El objetivo es no confundir los beneficios de ésta con otros derivados de una mejor gestión no estrictamente imputable a ella.

**7.1.2.2 Proyectos de infraestructura con reasignación.** Las diferencias principales con el tipo de proyecto anterior son dos: el sistema de control y los flujos por movimiento interactúan en el proceso de reasignación y hay más cortes temporales. La primera hace extremadamente laborioso cualquier proceso de optimización algo riguroso. Se mantiene pues la recomendación de no variar la estrategia de operación entre alternativas; sólo se requiere para las acciones secundarias que sean tales que se respeten los grados de saturación prácticos que se fijen. A su vez, la programación de los semáforos en cada período estará sujeta a optimizaciones parciales dentro del proceso iterativo simulación-reasignación que se trata en el acápite 8.3.4. Para los otros cortes temporales podrán

incorporarse ajustes al esquema de operación en atención a los cambios en la demanda, procurando que sean homólogos entre alternativas. En lo demás, valen las orientaciones del párrafo precedente.

**7.1.2.3 Proyectos de gestión no estructurales.** No cuentan con un prediseño operacional, por lo que en esta fase es necesario precisar las medidas propias a cada alternativa planteada. Por cierto, cabe perfectamente en este caso que haya diferencias incluso en el esquema de operación respectivo. Dependiendo del proyecto específico podrá haber más variables de control dependientes del período. También, los sistemas de información y fiscalización deberán ser contemplados explícitamente en el diseño. Si se trata de proyectos sin reasignación, hay que dedicar esfuerzos a optimizar las acciones secundarias. En caso contrario son procedentes las consideraciones del párrafo anterior. Los flujos de diseño serán determinados en forma análoga a la expuesta para proyectos de infraestructura.

**7.1.2.4 Proyectos de gestión estructurales.** Su particularidad es que hay un diseño operacional en el nivel estratégico al cual hay que atenerse, en cada año horizonte considerado. En lo demás, son equivalentes a proyectos de gestión no estructurales con reasignación.

**7.1.2.5 Relación del anteproyecto con el proyecto definitivo.** La alternativa que resulte seleccionada pasará a otra etapa, de proyecto definitivo, en la que el anteproyecto físico es referencia obligatoria. Por lo tanto, es importante que los aspectos geométricos del anteproyecto operacional queden claramente especificados en cuanto a posición y dimensiones. Igual carácter puede atribuirse a las demás regulaciones que no dependen del tiempo. No obstante, aquellas que si dependen podrán ser modificadas en el proyecto definitivo ya que se recomienda usar en éste una periodización distinta (ver inciso 2.3.1.7c). Además, téngase presente que el anteproyecto está encaminado a la evaluación de alternativas, que se hace en una perspectiva de largo plazo con excepción de los proyectos de gestión. En cambio, el diseño operacional en la etapa de proyecto definitivo debe tener como meta el mejor aprovechamiento inmediato de la vialidad planeada.



## SECCION 7.2: CONTROL DE TRANSITO

### 7.2.1 MOVIMIENTOS Y CONFLICTOS

**7.2.1.1 Generalidades.** La justificación de la regulación radica en la existencia de conflictos entre corrientes vehiculares. Ella debe pues concebirse como un tratamiento de éstos, para evitarlos o para crear condiciones en las cuales sus consecuencias son menos perjudiciales. Los conflictos se producen localmente en combinaciones diversas y con intensidad también variable pero responden a un número reducido de situaciones físicas que les dan origen. Esto da pie a un enfoque que aúna normas de carácter general a aplicar en un área y medidas específicas para cada lugar.

**7.2.1.2. Tipo de conflicto.** Las corrientes vehiculares pueden encontrarse en conflicto de tres maneras básicas, que son discutidas a continuación.

**a) Conflictos concurrenciales.** Es el caso de corrientes que circulan en la misma dirección y sentido en una vía pero a distinta velocidad. Afectan la capacidad de la vía y la velocidad media de recorrido.

**b) Conflictos direccionales.** Se dan entre corrientes cuyas trayectorias se cruzan, convergen o divergen, típicamente en intersecciones, y son determinantes de la capacidad de éstas.

**c) Conflictos funcionales.** Se producen entre vehículos que hacen uso de la misma vía para funciones contradictorias, ligadas a la accesibilidad o al desplazamiento. Ejemplos característicos son las paradas de buses, estacionamiento o labores de carga- descarga que se realizan en la calzada. Aunque podrían considerarse un caso extremo de conflicto concurrencial, su origen es claramente distinto y, todavía más, pueden inducir conflictos direccionales por maniobras de los conductores. Sus efectos entonces son una mezcla de los ya señalados.

Cualquiera sea el tipo de conflicto, un efecto límite es la ocurrencia de accidentes. Por otra parte, es evidente que cuanto más heterogéneo sea el tráfico, mayor será la cantidad de conflictos que surjan.

**7.2.1.3 Definición de movimientos.** En el marco expuesto hay dos dimensiones fundamentales para caracterizar una corriente: su trayectoria espacial y la categoría de vehículo. En tramos de vía la trayectoria se define por el sentido en que se circula y en intersecciones, por el acceso de origen y la dirección que se adopta: sigue directo, vira a derecha o izquierda, se incorpora o diverge. En cuanto a categorías de vehículos se recomienda tener en cuenta al menos tres: peatones, buses y demás vehículos. Los conflictos se producen entre los movimientos así identificados. Posteriormente, para fines de modelación y programación de semáforos, se emplea un criterio algo distinto para definir movimientos.

**7.2.1.4 Estrategia de control.** En el área de influencia de un proyecto habrá numerosos conflictos de características variables entre períodos. Son también múltiples las decisiones que envuelve el diseño operacional. Para que haya coherencia en ellas hay que fijarse una estrategia de control. Como se ha planteado en el acápite 7.1.2, en ciertos tipos de proyecto se trata más bien de mantener la existente en tanto que en otros, los de gestión en particular, cabe modificarla. Una estrategia de control se refiere a tres aspectos principales: reducción de conflictos, priorización de usos competitivos de la vialidad y naturaleza de las medidas específicas a adoptar.

**a) Reducción de conflictos.** La línea de acción maestra al respecto es especializar vías, o parte de ellas, para movimientos determinados. Esto aminora la heterogeneidad. Una primera referencia es la clasificación de la vía dentro de la jerarquización de la red. A ella se añaden los objetivos generales del proyecto. De aquí pueden derivarse políticas de prohibición de ciertos movimientos o funciones de acceso, de segregación de algunos de ellos, de dedicación exclusiva de ciertas vías a determinados usuarios, etc.

**b) Priorización en usos compartidos.** Muchos de los conflictos no son evitables o lo son a un costo demasiado elevado. Pero cabe proponerse morigerar sus consecuencias, lo que supone una función objetivo en términos de los impactos que se consideran en la evaluación. Ya que no es posible formular este problema con detalle, se trata de establecer criterios para el tratamiento de cada tipo de conflicto en cada clase de vía o en regiones determinadas del área de influencia. Por ejemplo, forma de manejar los cruces peatonales, priorización de la función de acceso en vías locales limitando la velocidad, etc.

**e) Naturaleza de medidas específicas.** Los propósitos de una estrategia de control pueden materializarse de maneras diversas. Por un lado, basándose en herramientas de carácter físico o económico. Por otro, con regulaciones muy apoyadas en dispositivos físicos que tiendan a forzar las condiciones de uso especificadas o que descansan más en señales o marcas que proveen más flexibilidad pero requieren mayor fiscalización.

La combinación de estos elementos no es arbitraria. Su factibilidad está condicionada por las características del proyecto, sobre todo por el grado de variación de los conflictos en el tiempo. El uso del suelo en el área tiene un papel destacado en este sentido como factor determinante de la demanda. Si es diversificado, normalmente será difícil que haya un potencial significativo de reducción de conflictos e inconveniente rigidizar las regulaciones. El diseñador deberá tener en cuenta la compleja trama de necesidades y posibilidades involucradas y procurar un equilibrio entre ellas. Es ésta una labor eminentemente conceptual. Sin embargo, se recomienda que se hagan explícitos los criterios esenciales que conforman la estrategia de control elegida para hacer más inteligible la interpretación de las medidas específicas y sus impactos.

**7.2.1.5 Medidas específicas.** 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 es difícil pretender la consecución de objetivos específicos en cada lugar por separado. Luego, un análisis muy detallado de los conflictos existentes es de escasa utilidad. Interesa un tratamiento

homogéneo, concordante con la estrategia, concentrado en los puntos críticos que pueden identificarse por medio del grado de saturación. En proyectos sin reasignación, la generación de medidas de control local es más transparente, más vinculada al problema local mismo. Los acápites siguientes están dedicados al diseño de medidas específicas.

**7.2.1.6 Medidas compensatorias.** Con frecuencia, merced al incipiente desarrollo de la modelación de los conflictos funcionales, se tiende a privilegiar tácitamente el desplazamiento frente a la accesibilidad. 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 acarreará normalmente entramientos a la accesibilidad que pueden ser compensados hasta cierto punto sin gran dificultad. Si, por ejemplo, se han quitado plazas de estacionamiento en algunas calles, se pueden crear otras 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 si beneficiosas para la accesibilidad.

## **7.2.2 CONTROL DEL USO DE LAS VIAS**

**7.2.2.1 Generalidades.** Las variables de control más relevantes en este terreno son las señaladas en el inciso 7.1.1.3a). En este acápite se hace una breve discusión de medidas relacionadas con ellas y de sus posibles impactos.

**7.2.2.2 Sentido de tránsito.** Una vía puede tener sentido único, doble o reversible. El sentido único contribuye a aumentar la capacidad, especialmente por 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, pero 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 las contemplen sólo excepcionalmente podrán ser introducidos, cuando los reruteos que provocan sean limitados y evidentes.

**7.2.2.3 Restricciones de acceso.** Las de tipo físico pueden ser absolutas o parciales. Las primeras significan prohibición de ingreso a ciertas categorías de vehículos y en el extremo, a todas menos una (por ejemplo, paseos peatonales). Las segundas discriminan a vehículos en condiciones determinadas: límite de peso, taxis sin pasajeros, etc. Sus impactos son muy similares a los de fijar sentidos de tránsito. Cuando la restricción es de carácter económico, mediante algún sistema tarifario, se producen efectos sobre la demanda; luego, medidas de esta naturaleza sólo caben en proyectos estructurales de gestión.

**7.2.2.4 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 caso que se disponga de antecedentes para justificar su adopción y estimar sus resultados podrán ser consideradas en el diseño operacional, siempre que no sean aplicables en todas las

alternativas que se están comparando. De no ser así, se supondrá que se mantienen las regulaciones vigentes en la situación actual.

**7.2.2.5 Asignación de pistas.** Cuando hay doble sentido de tránsito, o éste 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 el mismo sentido de circulación o a contraflujo. 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. A la vez, al generarse variaciones en la capacidad de las vías y de las intersecciones adyacentes, suelen surgir reasignaciones de flujos.

**7.2.2.6 Regulación de operaciones terminales.** Comprende tres tipos de operaciones: estacionamiento en la calzada, carga-descarga y paradas de transporte público, que preferentemente se realizan en los tramos no inmediatos a las intersecciones.

a) **Estacionamiento en la calzada.** Su presencia influye en la velocidad de recorrido. Prohibirlo o tarifcarlo trae aparejados cambios en la demanda, de mayor o menor entidad según sean la extensión de la medida y la proximidad de lugares alternativos con capacidad ociosa. Puede pues ocurrir que sea razonable suponer sólo efectos de reasignación. Por la naturaleza compleja del problema se recomienda asumir que se conserva la situación actual, a menos que el diseño físico contemple zonas segregadas destinadas a este uso o que se trate de un proyecto de gestión al que se le han fijado objetivos al respecto.

b) **Carga-descarga.** Siendo conceptualmente similar al estacionamiento, una diferencia práctica es decisiva: no es factible prohibirla por completo sin erradicar usos del suelo que la requieren. La regulación tiene sentido en cuanto a horarios en que se autoriza

pero debe tenerse presente que si no hay una disciplina establecida, es preciso ejercer intensa fiscalización. Vale entonces la misma recomendación anterior.

c) **Paradas de transporte público.** Aunque su necesidad es indiscutible y condicionan en alto grado las características de la circulación de estos vehículos - y eventualmente la de los demás, cuando forman cuellos de botella - es un fenómeno todavía poco estudiado. Más aún, en el país hay una tradición de ausencia de regulación de las paradas. Se espera contar en un futuro cercano con criterios para su diseño y modelación. Entretanto, donde haya paradas importantes habrá que suponer que permanecen, al igual que el comportamiento en ellas. Conviene sí, en proyectos de infraestructura, 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.

**7.2.2.7 Variabilidad en el tiempo de la regulación.** Muchas de las medidas reseñadas admiten variabilidad entre períodos; incluso algunas, como el sentido reversible, la suponen. No obstante, es delicado encontrar la mejor forma de introducirla para cada alternativa. Para prevenir que decisiones erróneas en este terreno sesguen la evaluación se recomienda no considerar variabilidad, excepto en proyectos de gestión en que alguna de estas medidas constituya una acción principal.

## 7.2.3 CONTROL DEL USO DE INTERSECCIONES

**7.2.3.1 Generalidades.** Dado el diseño físico de la situación base y las alternativas, habrá en el área de influencia un cierto número de intersecciones a nivel que hay que regular. Las variables de control primordiales son las señaladas en el inciso 7.1.1.3b). Cada intersección es un lugar en que se producen múltiples conflictos que se regulan simultáneamente. Por ello se define un indicador que permite apreciar la situación en que queda cada movimiento dentro del juego de conflictos: el grado de saturación. Se fija como objetivo una cota máxima para éste, que delimita lo que se considera un diseño operacional aceptable. Se denomina grado de saturación práctico ( $x_p$ ) y se recomienda adoptar, en general,  $x_p = 0,9$ . Es admisible que en la situación base haya movimientos con  $x > x_p$  a pesar de las mejoras introducidas, pero no lo es que esto suceda para una alternativa de diseño. A continuación se hace una reseña de las medidas específicas más frecuentes en control de intersecciones y de sus probables impactos.

**7.2.3.2 Forma de control.** El Manual de Señalización de Tránsito (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 1983) establece criterios para elegir la forma de control. Pero vale la pena agregar algunas consideraciones a modo de complemento.

**a) Cruces peatonales.** En intersecciones semaforizadas en que se produce fricción importante de virajes vehiculares con peatones suele convenir desplazar el cruce peatonal para generar un espacio de almacenamiento de los vehículos que viran. Así, éstos no bloquearán la intersección. Por otra parte, en intersecciones de prioridad o rotondas, debe contemplarse explícitamente en qué lugar cruzarán los peatones, aunque no haya mediciones de flujos de ellos. Igualmente, si hay tramos prolongados sin intersecciones deben preverse instalaciones para el cruce de los peatones, cuyo tipo estará en concordancia con la jerarquía de la vía.

**b) Intersecciones semaforizadas complejas.** Cuando hay muchos movimientos conflictivos, y particularmente virajes, es atractivo estudiar la posibilidad de simplificar

mediante una división en varias intersecciones contiguas. Para ello se requiere que haya espacios disponibles para acomodar los elementos separadores necesarios.

La forma de control, en su sentido general, determina las leyes que rigen los conflictos y, por ende, la capacidad. Su especificación más detallada, como en los casos comentados, conduce a modificaciones en la geometría vial.

**7.2.3.3 Autorización de movimientos.** Autorizar o prohibir un movimiento significa añadir o eliminar conflictos en las intersecciones en que se adopta la medida pero también modificar éstos en otras intersecciones o tramos de vía, por las resignaciones que se inducen. Es pues un tema delicado. En general, hay una gama de herramientas para tratar movimientos problemáticos y su prohibición es una extrema, que debe usarse con prudencia. Por eso mismo, cuando en la situación actual existan movimientos impedidos deberá analizarse la conveniencia de levantar la prohibición. Además de la reasignación o reruteo de flujos, se altera la capacidad de la intersección en que se toma la medida.

**7.2.3.4 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 indispensable suponer cómo lo harán en orden a estimar la capacidad de cada movimiento. Esta suposición se convierte en regulación en tanto es transmitida al usuario mediante demarcaciones y canalizaciones, condicionando su comportamiento. El problema tiene dos facetas: 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. En proyectos de gestión 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, abierta en cualquier tipo de proyecto, 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 interrelacionada con la programación del semáforo.

**b) Asignación de usos.** Hay dos posibilidades: uso exclusivo o compartido. Para que el primero sea realista debe corresponderse con 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. Algunos de los programas computacionales de simulación que recomienda este Manual tienen procedimientos internos que les permiten predecir cuándo la demanda imperante lleva a uso exclusivo aunque se haya especificado uso compartido. Esto hace innecesario suponer patrones de uso diferenciados entre períodos.

**7.2.3.5 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 red, como sucede en -general en los proyectos a que se refiere este Manual, incluso un cambio en la velocidad de recorrido en un tramo de vía debe tener ese efecto. Esto hace obligatorio diseñar la programación para cada período de cada situación (base o alternativa) en cada corte temporal. Recomendaciones al respecto se entregan en el siguiente acápite.

## **7.2.4 PROGRAMACION DE SEMAFOROS**

**7.2.4.1 Generalidades.** La programación de semáforos 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 cielo y repartos. La tercera aparece cuando los semáforos forman red y entonces el tiempo de ciclo de todas las intersecciones debe guardar una relación fija; hay que determinar desfases y, eventualmente, ajustar el diseño de fases y repartos. Luego, las tres dimensiones no son independientes pero se trabaja como si lo fueran, con un procedimiento secuencial que contempla iteraciones para restablecer la dependencia. Los métodos a aplicar son, en esencia, los contenidos en el Capítulo 4 del Manual de Señalización de Tránsito. Aquí sólo se entregan criterios generales y algunos métodos complementarios. La programación debe cubrir todos los nodos semaforizados del área de influencia.

**7.2.4.2 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, hay que procurar aprovechar la flexibilidad que ofrecen los controladores modernos, haciendo uso intensivo del traslapo de movimientos. Los movimientos peatonales, aunque no haya información de flujos, 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. En el caso de redes, si el tiempo de ciclo común determinado es alto hay que explorar la conveniencia de dar dos períodos de verde disjuntos de distinta duración sólo a movimientos con factor de carga elevado, como alternativa al doble ciclo, en proyectos de gestión. Este análisis se realizará con el programa SIDRA, si la intersección ha sido modelada para él, o con TRANSYT. En cada situación estudiada (base o alternativa de diseño) fases, entreverdes y verdes mínimos serán constantes entre períodos aunque pueden variar entre situaciones.

**7.2.4.3 Tiempo de ciclo, repartos y desfases.** Su determinación sigue cauces diferentes 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 del Manual de Señalización de Tránsito. Cuando hay coordinación, se determina primero el tiempo de ciclo y luego, repartos y desfases con ayuda de programas computacionales. La influencia del tipo de proyecto se discute más adelante. Estas variables son propias de cada período.

**7.2.4.4 Tiempo de ciclo común en una red.** Investigaciones recientes (Barrientos,1988) muestran que el índice de funcionamiento de una red es poco sensible al tiempo de ciclo dentro de un rango de cierta amplitud, si se optimizan los desfases y se dejan intersecciones en doble ciclo de manera conveniente. Entonces, el problema consiste en encontrar un criterio para determinar una combinación adecuada de tiempo de ciclo e intersecciones en doble ciclo. El procedimiento recomendado se explica en la Sección 8.3.

**7.2.4.5 Determinación de repartos y desfases.** Definidos el tiempo de ciclo y los nodos en doble ciclo (o con doble verde selectiva, en proyectos de gestión), repartos y desfases se calculan con el programa TRANSYT. En general, para los repartos se usará el criterio de equisaturación y para los desfases, optimización con el programa. Si se ha usado la opción de doble verde selectivo, los repartos serán también optimizados. Mayores detalles sobre el proceso de optimización figuran en la Sección 8.3.

**7.2.4.6 Proyectos sin reasignación de flujos.** En este tipo de proyectos, en los nodos de frontera del área de influencia hay sólo información sobre los movimientos que ingresan o salen del área. Por lo tanto no es posible hacer en ellos una programación rigurosa del semáforo. El tiempo de ciclo se fija entonces únicamente con los nodos interiores y se aplica a los nodos de frontera. El reparto de la(s) fases(s) en éstos en que hay movimientos con flujo conocido se calcula con la condición de que el porcentaje de verde efectivo que recibe(n) con el nuevo tiempo de ciclo sea igual al de la situación actual.

**7.2.4.7 Proyectos con reasignación de flujos.** Como se mencionó en el acápite 7.1.2, en este caso los flujos y la programación de los semáforos son interdependientes. De todos

modos, la relación se restringirá a tiempo de ciclo, repartos y desfases, El procedimiento se expone en la Sección 8.3.

## **SECCION 7.3: ESQUEMAS DE DESVIOS DURANTE LA CONSTRUCCION**

### **7.3.1 CRITERIOS DE DISEÑO**

**7.3.1.1 Necesidad de esquemas de desvíos.** Cuando una alternativa de diseño contiene modificaciones significativas de la infraestructura, su eventual ejecución con llevará perturbaciones a la circulación mientras duren las obras. Ellas redundan en costos para los usuarios, en un área de tamaño variable en función de la magnitud de las reasignaciones de flujo que se produzcan. Estos efectos pueden controlarse a través de la planificación de las obras y del diseño operacional correspondiente. Surgen así costos, esta vez para la unidad ejecutora, asociados al uso de ciertas técnicas constructivas, al plazo para realizar algunas faenas de fuerte impacto sobre la capacidad o a la habilitación de rutas provisorias. Por lo tanto, para estimar correctamente los costos de inversión y eventualmente los costos ocasionados a los usuarios, se requiere disponer de un esquema de operación a lo largo del período de construcción. Al concebir el esquema será posible afinar el diseño físico en orden a reducir los costos mencionados. Lógicamente, el desarrollo de estos esquemas sólo es pertinente para proyectos de infraestructura.

**7.3.1.2 Objetivos generales.** En el diseño de los esquemas, vinculado a la definición de la programación de las obras que demanda cada alternativa estudiada, se tendrán en cuenta los siguientes objetivos:

- mantener en operación 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;
- inducir reasignaciones adecuadas de los usuarios, mediante señalización u obras complementarias.

**7.3.1.3 Análisis de desvíos.** Dado un programa tentativo de desarrollo de las obras, dos variables son cruciales: flujo a reasignar y capacidad disponible en rutas alternativas.

**a) Flujo a reasignar.** Se puede obtener una estimación gruesa con el siguiente procedimiento. Sea  $x$  el grado de saturación actual de un movimiento cuya capacidad se verá mermada, si  $x < 0,9$  se adopta esta cota como referencia. Suponiendo que mantener el factor de carga del movimiento es una forma razonable de alcanzar los objetivos planteados, la condición

$$\frac{q}{s} \leq \max\{0,9; x\}$$

(7.3.1 -1)

debe satisfacerse. Conocido el flujo de saturación reducido, ella permite calcular el flujo máximo admisible. La diferencia entre éste y el flujo previsto del movimiento en el primer corte temporal indica el monto a reasignar. Este no puede ser mayor que el flujo de vehículos de transporte individual; si ello ocurre, habrá que revisar el plan o suplir capacidad para asegurar el desplazamiento de la locomoción colectiva. Nótese que  $s$  depende de la composición de movimientos, cuando se trata de una intersección. El flujo a reasignar puede ser menor que el calculado si se cambia esta composición, suspendiendo algún viraje conflictivo. La estimación debe hacerse para el período en que el movimiento está más cargado. Es posible que haya varios movimientos afectados a la vez y, en una primera etapa, se analizan por separado. Habiendo cuantificado localmente los flujos a reasignar, hay que situarse en una perspectiva origen - destino. Es decir, identificar corrientes apropiadas para producir la reducción de flujos requerida.

**b) Capacidad disponible.** Las vías e intersecciones en que  $x < 0,9$  en la situación actual pueden recibir más vehículos. Conviene examinar este potencial por grupos de rutas del mismo sentido, antes que individualmente. La magnitud del flujo que se les podría

desviar se puede estimar con el mismo procedimiento recién descrito, en cada período de interés. Téngase presente que en cada ruta es decisivo el punto más restrictivo.

Este método sencillo puede sustituirse o complementarse con modelos de asignación, si están disponibles. El balance entre los dos aspectos señalados ayudará a seleccionar los desvíos más atractivos. Si hay desbalance notorio caben dos caminos. reprogramar las obras o buscar medidas para aumentar la capacidad disponible en las rutas alternativas. Esto último puede implicar mejoras operacionales en puntos críticos o rediseños geométricos. En esta etapa de anteproyecto no corresponde entrar en detalles al respecto pero sí deben quedar claras la factibilidad de proveer condiciones de operación razonables en el área de influencia durante la construcción de la alternativa y la dimensión probable de los trabajos que implican los desvíos.

## **7.3.2 ESPECIFICACION DE LOS ESQUEMAS**

**7.3.2.1 Justificación del esquema.** Deberá presentarse una síntesis explícita de los antecedentes empleados para el diseño de los desvíos y los cálculos que fundamentan la factibilidad de éstos, provengan de estimaciones sencillas como las reseñadas en el párrafo 8.3.1.3 o del uso de modelos de asignación.

**7.3.2.2 Definición física.** Dado el alcance fijado en el acápite anterior para los esquemas de desvíos, es suficiente indicar en planos en planta, a escala conveniente, las pistas que estarán en operación en cada etapa de ejecución y un bosquejo de los rediseños sugeridos en vías alternativas.

**7.3.2.3 Definición operacional.** En los planos se mostrarán los movimientos autorizados en los elementos restringidos de la vialidad y se dibujarán las rutas contempladas para los movimientos desviados. Asimismo, habrá que señalar los lugares en que debe instalarse señalización informativa para los usuarios.

**7.3.2.4 Requerimientos especiales.** Si para un estudio determinado se exige estimar los costos asociados a los desvíos (discutidos en el párrafo 7.3.1.1) el nivel de definición deberá elevarse a uno similar al de prediseño (ver Sección 4.1). En proyectos sin reasignación de flujos la predicción de los costos a los usuarios tendrá que basarse en reruteos generados con métodos manuales y una simulación con el programa TRANSYT. En proyectos con reasignación se dispondrá de redes modeladas para el programa SATURN, con las que no resulta complicado estimar dichos costos.

## **CAPITULO 8: MODELACION Y SIMULACION**

### **SECCION 8.1: CRITERIOS BASICOS**

#### **8.1.1 ASPECTOS GENERALES**

**8.1.1.1 Propósito de esta actividad.** Se trata de predecir las características de la circulación en el área de influencia con el fin de estimar posteriormente los beneficios de las alternativas de diseño. Es importante que la predicción sea certera, para lo cual debe tener en cuenta los fenómenos más relevantes que se producen. De aquí la necesidad de llevar a cabo este proceso con modelos matemáticos que recojan las complejas interacciones que tienen lugar en el área, particularmente las que dicen relación con efectos de red. El desarrollo de herramientas completamente analíticas a este nivel es todavía bastante insuficiente; en cambio, técnicas de simulación han dado excelentes resultados. En suma, el propósito que se persigue es predecir las características de la circulación en cada caso a través de programas computacionales que, generalmente, simulan la red pertinente. Esta red es un modelo matemático, tan representativo como sea posible, de la situación correspondiente. La predicción puede servir eventualmente para introducir correcciones al diseño físico u operacional de una alternativa.

**8.1.1.2 Variables a predecir.** En esencia, ellas son: velocidades en los tramos de vía (arcos de la red), demoras y detenciones en los nodos de la red. En algunos casos, las velocidades serán datos y en otros (proyectos con reasignación) habrá también que predecir los flujos en los arcos. Cabe destacar que normalmente, si bien hay parámetros de la capacidad que vienen determinados por el diseño físico y operacional, el valor de ella será establecido en el proceso de simulación ya que está influido por factores, como la programación de los semáforos o la forma de los patrones de llegada, que resultan de ese proceso. Con todo, la capacidad no interesa por sí misma sino a través de su efecto sobre demoras y detenciones, para la evaluación.

**8.1.1.3 Situaciones a considerar.** En cada proyecto debe ser modelada y simulada cada alternativa seleccionada y la situación base (si la hay) en cada periodo de cada corte temporal. La cantidad de cortes temporales, la definición de los periodos y la existencia o no de situación base están en función del tipo de proyecto, según lo expuesto en el Capítulo 2 de este Manual.

**8.1.1.4 Tratamiento de las redes.** El modelo de cada situación representa la vialidad y las condiciones de uso especificadas, es decir, los anteproyectos físico y operacional correspondientes.

Con frecuencia, estos no se modificarán entre periodos y cortes temporales para una misma alternativa. No obstante, siempre cambian los parámetros del modelo (por ejemplo, flujos, flujos de saturación, tiempo de ciclo de los semáforos). Conviene entonces distinguir entre los aspectos estructurales de la red y los parámetros que caracterizan a sus elementos. En este Capítulo, los primeros son abordados al hablar de modelación y los segundos, en lo referente a simulación. Ahora bien, la predicción de los impactos en la red se realiza mediante programas computacionales. A efectos de procurar homogeneidad en la evaluación de proyectos diversos se ha seleccionado un conjunto de programas, con los criterios mencionados en el párrafo 3.1.1.4. Su empleo se describe en los párrafos siguientes.

**8.1.1.5 Programas computacionales para proyectos con asignación de flujos.** En este tipo de proyectos, sean estructurales o no, se usan dos programas: SATURN, en versión 8 o posterior, para asignar los flujos de vehículos sin itinerario fijo, y TRANSYT, en versión 8 o posterior, para optimizar la programación de los semáforos de la red y, sobre todo, para hacer la simulación en que se basará la estimación de beneficios. Esto implica un uso iterativo de ambos programas. Sólo si en el área de influencia las intersecciones semaforizadas no son determinantes, se usará SATURN para todos los fines señalados.

**8.1.1.6 Programas computacionales para proyectos sin reasignación de flujos.** Hay que distinguir aquí si hay o no efectos de red significativos. Estos existirán siempre que

haya en el área de influencia del proyecto presencia de intersecciones semaforizadas próximas entre sí.

**a) Proyectos sin efectos de red significativos.** En este caso se puede tratar por separado cada tramo de vía e intersección del área. En los tramos de vía sólo puede interesar predecir la velocidad (si hay un ensanche) para lo cual se usa una relación velocidad - flujo. Las demoras y detenciones en intersecciones son obtenidas con programas, de naturaleza analítica, distintos según su forma de control:

- semaforizada: SIDRA, en versión 3.1 o posterior;
- regulada por señal de prioridad: PICADY, en versión 2 o posterior;
- rotonda: ARCADY, en versión 2 o posterior.

**b) Proyectos con efectos de red significativos.** En este caso la red será simulada con TRANSYT. Si hay ensanches en tramos de vía de la red, para predecir la velocidad en ellos (que es dato para TRANSYT) se usará una relación velocidad - flujo como la de la ecuación (3.1.3-2). Si dentro de la red hay intersecciones semaforizadas cuyo diseño es alterado sustancialmente en una o más alternativas y son previsible problemas de bloqueo o similares, se usará SIDRA para estimar la capacidad de los movimientos involucrados.

**8.1.1.7 Relación con actividades previas.** La modelación y simulación condensa el producto de las actividades previamente realizadas en el desarrollo de un estudio. Hay entonces relaciones obvias pero interesa poner de manifiesto algunas que revisten características especiales.

**a) Simulación de la situación actual.** Esta, tratada en las Secciones 3.1 y 3.2 de este Manual, constituye la base en que se apoya la modelación y simulación de la situación base y las alternativas de diseño. En gran parte de los proyectos, excepto nudos sin reasignación, se tendrán redes calibradas para la situación actual, modeladas para los mismos programas computacionales que se emplean en esta etapa. En tales casos, sólo se modificarán los parámetros correspondientes a los elementos incluidos en la Tabla de cambios (ver párrafo 7.1.1.8) introducidos por el anteproyecto, además de los flujos. A

veces, habrá que agregar períodos no considerados en la simulación de la situación actual. No obstante, como se ha dicho, la estructura de la red es prácticamente independiente del período.

**b) Selección de alternativas.** En esta actividad se simulan algunas situaciones, basadas en el prediseño físico y operacional. En esos casos, las redes empleadas serán el punto de partida en vez de la situación actual. Incluso, si el anteproyecto no introduce cambios al prediseño, pueden ser directamente utilizadas para la evaluación.

**c) Diseño físico y operacional.** Por una parte, sólo en la simulación se completa el anteproyecto operacional cuando hay semáforos coordinados. Por otra, hecha la simulación, su análisis (ver acápite 8.4.1) permitirá identificar puntos débiles en el diseño de una alternativa, cuya corrección puede significar mejoras de importancia en su operación. Así, la evaluación no conducirá a descartar alternativas por deficiencias fácilmente subsanables pero no tan fácilmente identificables antes de simular la red.

## 8.1.2 MODELACION

**8.1.2.1 Delimitación de las redes.** La red a modelar en cada proyecto es la de su área de influencia, definida en la Sección 4.2. Tanto para la situación base como para las alternativas de diseño, en todos los períodos y cortes temporales, el límite exterior debe ser el mismo. El objeto es que se estime el consumo de recursos en la misma región del espacio-tiempo para todas las situaciones que serán comparadas.

a) **Proyectos sin efectos de red significativos.** En este caso se cuidará que en todas las situaciones se determinen velocidades, demoras y detenciones en el mismo conjunto de tramos de vía e intersecciones.

b) **Proyectos con efectos de red significativos.** En este tipo de proyectos las predicciones que son usadas para evaluación son únicamente las de la red modelada con TRANSYT. Por ello, si hay reasignación de flujos la red SATURN incorporará zonas exteriores e interiores al área de influencia pero la red TRANSYT sólo cubrirá el área interior. Para asegurar que se mantiene la frontera de la red entre situaciones, todos los arcos de entrada deberán llegar a nodos ubicados en ese límite físico. Estos nodos pueden representar una intersección real o ser ficticios, con la única función de fijar el límite de la red, caso en el cual se modelarán como un cuello de botella.

**8.1.2.2 Elementos topológicos.** Se entiende por tales a los que permiten especificar la estructura de la red o la intersección, según el caso. Aunque los programas recomendados para el tratamiento de redes hacen uso de nodos y arcos, hay diferencias sensibles entre ellos en cuanto al modo de articularlos para modelar los fenómenos de la circulación. Por su parte, los programas para intersecciones aisladas tienen como elementos principales a movimientos y pistas. Al usar combinadamente varios programas debe prestarse particular atención a la consistencia de la modelación de una misma situación real en los diversos casos. Otro aspecto de importancia es que el modelo de simulación (para TRANSYT) recoja con detalle las diferencias más resaltantes entre las alternativas de diseño; en ocasiones, ellas sólo se traducirán en cambios en los parámetros asociados a los elementos

de la red pero es también probable que resulte conveniente introducir modificaciones topológicas, por pequeñas que sean, para predecir con más fidelidad los impactos de una medida de diseño. La Sección 8.2 contiene algunas recomendaciones para materializar estas orientaciones.

**8.1.2.3 Técnicas de modelación.** Como se ha hecho ver en el párrafo 3.1.2.1, la representación del área de influencia no es una labor rutinaria ni de solución única. Es necesario que el analista conozca en profundidad las bases teóricas y las peculiaridades instrumentales de los programas computacionales aludidos, y aplique su criterio ingenieril en cada caso. Ningún Manual puede sustituir ese conocimiento y el criterio; no obstante, se ha procurado ofrecer mejores condiciones para obtener buenos (y homogéneos) resultados a través de la inclusión de la simulación de la situación actual y de la elección de programas computacionales altamente compatibles en su concepción teórica y que disponen de atributos de claridad y flexibilidad en cuanto a elementos de modelación.

**8.1.2.4 Limitaciones.** Hay ciertos fenómenos de indiscutible gravitación en las condiciones de tráfico en las ciudades chilenas que están escasamente tratados en esta versión del Manual y no son susceptibles de una cabal representación con los programas computacionales seleccionados. Son, principalmente, los asociados a conflictos funcionales: paradas de buses, carga-descarga y estacionamiento en la calzada, y a la circulación peatonal y su interferencia con la vehicular. Donde problemas de este tipo sean relevantes, el modelador deberá poner cuidado en introducir sus efectos aunque sea indirectamente por medio de los valores de los parámetros pertinentes. Hay también limitaciones en materia de predicción de tasas de ocurrencia de accidentes y otras más específicas a los modelos de redes, como la no inclusión de las demoras geométricas en intersecciones no semaforizadas. Se puede encontrar en los acápites 8.2.3 y 8.4.1 algunas sugerencias al respecto. Sin perjuicio de ellas, se espera incorporar en el futuro procedimientos más formales.

### **8.1.3 SIMULACION**

**8.1.3.1 Funcionalidad de los programas computacionales.** De acuerdo con lo indicado en los párrafos 8.1.1.5 y 8.1.1.6 cada uno de los programas tiene funciones precisas en el desarrollo del proceso de diseño y evaluación de un proyecto. Confeccionados los modelos en la forma apropiada para el caso, la simulación puede conllevar la necesidad de ejecutar los programas iterativamente cuando unos proveen información para otros. Las etapas que se debe seguir y ciertos criterios de compatibilidad y convergencia figuran en la Sección 8.3. El propósito unificador es que la estimación de los recursos consumidos en el área de influencia en cada situación descansa en el mismo programa, para propender a la generación de indicadores de rentabilidad social comparable,%. Se ha elegido para esta función al programa TRANSYT por su capacidad para representar fenómenos muy diversos de manera integrada. Se juzga de especial interés la posibilidad de modelar con flexibilidad condiciones de tráfico mixto; así lo confirman validaciones exitosas realizadas en Santiago (Gibson, Saavedra y Spoerer, 1982; Coeymans, Novoa y Willuinsen, 1987; Ross y Gibson, 1987). Los restantes programas, a pesar de que entregan resultados útiles para evaluación directamente, desempeñan un papel complementario salvo cuando la red no está condicionada por la presencia de intersecciones semaforizadas relativamente próximas.

**8.1.3.2 Parámetros de las redes o intersecciones.** Hay algunos que son requeridos por todos los programas en tanto que otros son específicos a ellos. Aquí se dan orientaciones sólo acerca de los primeros y los más sujetos a interpretación entre los segundos.

**a) Capacidades y velocidades.** En general serán aplicados los métodos expuestos en la Sección 5.3, debidamente ajustados según la experiencia que se haya recogido en la calibración de la situación actual. En casos especiales, en que es conveniente estimar la capacidad (o sus parámetros) mediante simulación, los valores serán obtenidos con otros programas.

**b) Ponderadores de demoras y detenciones.** No se recomienda el uso de estos ponderadores a nivel de arco pero sí uno general que haga que una unidad de demora total pese 6 veces lo que 100 detenciones.

**c) Longitudes de arcos.** Ellas deben reflejar las distancias efectivas entre las líneas de detención extremas de cada arco. Debe cuidarse que cambios geométricos asociados a alguna alternativa tengan su correlato en variación de longitudes de arcos. Las estimaciones han de ser precisas pues diferencias de no muchos metros en ciertos tramos pueden incidir significativamente en la estimación de beneficios.

**8.1.3.3 Flujos.** En cada situación considerada (párrafo 8.1.1.3) los flujos corresponderán a los estimados siguiendo las pautas dictadas en la Sección 2.4. La manera de especificar los flujos depende del programa computacional. En SATURN, son introducidos como matrices origen-destino; en TRANSYT, como flujos por arco; en los programas para intersecciones aisladas, como flujos por movimiento. El procedimiento que se ha recomendado, de siempre construir matrices origen-destino, facilita determinar consistentemente los valores a emplear en cada caso. Basta tener clara la correspondencia entre movimientos origen-destino y los elementos de modelación (arcos o movimientos) que los representan.

**8.1.3.4 Unidades.** Hay razones teóricas fuertes para que los flujos y capacidades se usen con unidades determinadas. En los programas para intersecciones aisladas las capacidades son estimadas por ellos pero los flujos deben darse en **veh/h**. En los programas para redes, flujos y flujos de saturación deben estar en **veq/hr**. Los restantes parámetros deben ser especificados en las unidades que se indican en los respectivos manuales de uso.

**8.1.3.5 Período de simulación.** Si bien para cada alternativa y corte temporal son simulados todos los períodos definidos para el proyecto, estos no siempre son simulados en toda su extensión. Los programas computacionales elegidos estiman las demoras basándose en teoría de colas dependientes del tiempo. Si el grado de saturación no es muy bajo, la duración del período de simulación puede tener un efecto considerable en las

demoras. Para evitar sesgos así originados hay que atenerse a las recomendaciones siguientes.

**a) Proyectos con reasignación de flujos.** Siempre el período de simulación es de una hora.

**b) Proyectos sin reasignación de flujos.** Si no hay efectos de red significativos y se usan entonces programas para intersecciones aisladas, el período de simulación tendrá la misma duración del período de la semana tipo respectivo, excepto para el período fuera de punta o resto en que se tomará una hora como duración. Si se trata de intersecciones no semaforizadas, los períodos punta -no importa cual sea su duración total- serán simulados con perfiles de flujos de 15 en 15 minutos. En proyectos en que hay efectos de red significativos, y se usa TRANSYT, el periodo de simulación será una hora. La sola excepción son períodos de la semana tipo cuya duración total es de 2 horas o menos, que sean consecutivas dentro de un mismo día de la semana; en tal caso, el período de simulación tendrá esa misma duración.

## SECCION 8.2: RECOMENDACIONES PARA LA MODELACION

### 8.2.1 RECOMENDACIONES GENERALES

**8.2.1.1 Diferenciación de categorías de vehículos.** Cualquiera sea la diferenciación adoptada en el estudio (ver acápite 4.2.1), para fines de simulación hay ciertas restricciones dependientes de los programas computacionales.

a) **Programas para intersecciones aisladas.** En éstos sólo cabe distinguir entre vehículos livianos y pesados en cada movimiento. Se consideran pesados todos los tipos de buses y los camiones; el resto son vehículos livianos.

b) **SATURN.** La distinción clave es entre vehículos con y sin ruta fija en cada arco. Se considera con ruta fija los buses y taxis colectivos; donde haya una cantidad significativa de taxis libres buscando pasajeros, pueden ser tratados como vehículos con ruta fija asignándolos a sus circuitos “preferidos” de búsqueda dentro de la red.

e) **TRANSYT.** Este programa admite mayor diferenciación gracias a su capacidad de manejar varios arcos que comparten línea de detención. Sin embargo, normalmente se distinguirá sólo entre arcos de buses y de tráfico general (restantes categorías). En caso que características particulares de un estudio hagan necesaria una mayor desagregación se puede añadir el tipo de arco correspondiente. Pero hay que tener presente que esto sólo tiene sentido si se trata de alguna categoría de vehículos que gravita en la composición del tráfico en la red y tiene una velocidad media sistemática y significativamente distinta de las otras categorías.

**8.2.1.2 Movimientos, pistas, arcos y líneas de detención.** La modelación del tráfico en intersecciones tiene como asunto primordial relacionar flujo y capacidad. En los programas seleccionados hay dos maneras de tratar este punto. Todos menos TRANSYT recurren a una representación directa basada en movimientos (directo y virajes) y pistas,

que pueden ser de uso compartido, e incorporan procedimientos internos para asignar el flujo de cada movimiento entre las pistas que le están disponibles. La capacidad, más propiamente sus parámetros, se asocia a las pistas. En cambio, TRANSYT trabaja con arcos (que llevan los flujos) y líneas de detención. Sobre éstas se define la capacidad y pueden ser compartidas por varios arcos, caso en el cual se supone que hay un mismo grado de saturación para los arcos comprometidos. Esta representación tiene dos desventajas principales:

- el uso de las pistas en el anteproyecto operacional, que da origen a la especificación de líneas de detención compartidas o separadas, rigidiza la simulación. En los demás programas, la asignación de flujos por pista permite detectar casos en los que el uso real probablemente será distinto al supuesto por desequilibrio en los grados de saturación de pistas contiguas;
- la estimación de la componente excedente de las demoras, sufre sesgo. Cuanto más pistas están incluidas en una línea de detención más se subestima dicha componente.

Estos dos problemas deben ser sopesados al modelar la red para TRANSYT, tanto desde el punto de vista de la compatibilización de diversos programas como de la calidad de la predicción de impactos. En particular, importa que se recojan cuidadosamente las diferencias en el uso de pistas que se puedan atribuir a distintas alternativas de diseño de un proyecto. Asimismo, qué pistas son de uso exclusivo (o casi) para individualizarlas como líneas de detención separadas.

**8.2.1.3 Influencia del tipo de proyecto en la modelación.** En general, los proyectos de infraestructura, especialmente los con reasignación de flujos, traen aparejados cambios porcentuales sustantivos en las variables de la circulación. Mientras tanto, los de gestión corrientemente producen variaciones mucho menores (y lo es también la inversión), no siendo de extrañar que sean inferiores a, digamos, un 5%. Evidentemente, la modelación para proyectos de gestión debe ser más fina para conducir a decisiones de inversión bien fundadas. Esto significa prestar mayor atención a problemas como los señalados en este acápite y en el 8.2.3.



## **8.2.2 MODELO PARA ASIGNACION DE FLUJOS**

**8.2.2.1 Calibración y simulación.** Las redes para SATURN son calibradas para todos los períodos a simular, en la etapa de simulación de la situación actual; la simulación de alternativas sólo exige entonces, en términos de modelación, especificar los cambios en la red que ellas comportan. La calibración es pues de la máxima importancia y las recomendaciones contenidas en el acápite 3.2.2 deben ser seguidas acuciosamente. Pero es preciso insistir en que SATURN es empleado en esta metodología casi exclusivamente como herramienta de predicción de la asignación de flujos de vehículos sin ruta fija y no para evaluar. Por lo tanto la modelación, en cualquiera etapa, debe orientarse a ese fin; donde no interesa representar adecuadamente a los vehículos con ruta fija es en sus efectos sobre los otros. En este sentido, pueden ser de utilidad las indicaciones de los párrafos que siguen.

**8.2.2.2 Modelación de arcos.** En la red externa SATURN es posible especificar relaciones velocidad-flujo o tiempos de viaje fijos en los arcos. En tramos de vía con fuerte influencia de buses u otros vehículos pesados que no sea bien descrita por una relación velocidad-flujo convencional, como la de SATURN, será preferible recurrir a tiempos fijos. Estos deben provenir de observaciones de terreno en cada período simulado. En los arcos de red interna, hay que usar tiempos de viaje fijos, con igual fuente. Sobre todo, en arcos con paraderos importantes que acarrear grandes diferencias de tiempo de viaje de los vehículos livianos entre períodos.

**8.2.2.3 Modelación de intersecciones.** Hay aspectos puntuales que merecen destacarse.

a) **Uso de pistas.** En calles con altos flujos de buses en que éstos tiendan a usar muy mayoritariamente una o más pistas, puede ser conveniente modelarlas como pistas exclusivas, tal vez compartidas con el viraje a la derecha, lo que exige un nodo ficticio dentro del tramo de vía previo. Este recurso de modelación puede ser usado para uno o más períodos, dependiendo de las circunstancias.

**b) Intersecciones de prioridad.** SATURN usa un modelo de brechas para estimar la capacidad, que es muy sensible a la brecha crítica especificada por el usuario. Reasignaciones importantes pueden ser derivadas simplemente de una estimación ligera de su valor. Procede destinar esfuerzos particulares en la calibración a obtener estimaciones adecuadas de ese parámetro para el proyecto en estudio.

**c) Número de intervalos.** La precisión de la reproducción del tráfico es función de la cantidad de intervalos en que se divide el cielo. Para la etapa de calibración se recomienda un número variable: reducido en las primeras corridas y el máximo posible cuando esté prácticamente conseguida. Para la asignación de flujos en alternativas de diseño se recomienda emplear un número tal que la duración de cada intervalo sea de unos 5 segundos para proyectos de gestión y 10 segundos para proyectos de infraestructura. En todo caso, esta duración debe ser inferior al mínimo período de verde efectivo existente en la red.

## **8.2.3 MODELO PARA SIMULACION DE REDES**

**8.2.3.1 Consideraciones generales.** La modelación para TRANSYT es de gran trascendencia pues, salvo contadísimas excepciones, es su resultado el que alimentará la evaluación del proyecto. Además, los tiempos de los semáforos son determinados con este programa. Las virtudes de TRANSYT (ver párrafo 8.1.3.1) tienen como inevitable contrapartida la existencia de un alto grado de discrecionalidad para el modelador. Que sea ejercido con prudencia y buen sentido es la motivación de las recomendaciones de este acápite.

**8.2.3.2 Calibración y simulación.** La etapa de simulación de la situación actual provee el punto de partida, no tan sólido como para SATURN. En efecto, sólo para proyectos con reasignación se habrá calibrado redes TRANSYT en todos los períodos. En proyectos sin reasignación se dispondrá de redes calibradas únicamente en períodos punta, en algunos casos, o en ninguno, tratándose de nudos. No obstante, el proceso de calibración aportará información cualitativa y cuantitativa sumamente valiosa para el modelador. Apoyándose en ella confeccionará primero el modelo de la situación base y luego, a partir de la Tabla de cambios del párrafo 7.1.1.8, el de las alternativas de diseño.

**8.2.3.3 Problemas especiales.** Aparte de la singularidad analizada en el párrafo 8.2.1.2 hay una serie de aspectos de modelación que es pertinente destacar porque o bien constituyen limitaciones de TRANSYT que en determinadas situaciones requieren el uso de programas complementarios, o bien suponen prácticas no estandarizadas. Pueden agruparse en problemas relacionados con intersecciones y con tramos de vía. Los primeros comprenden: movimientos impedidos, intersecciones complejas, movimientos peatonales y de bicicletas y flujos de saturación dependientes de la programación de los semáforos. Los segundos se refieren a la dispersión del tráfico y a los paraderos de buses.

**8.2.3.4 Movimientos impedidos.** Cuando en la situación actual hay, por ejemplo, un viraje prohibido o extremadamente dificultoso, las mediciones de flujos no lo recogerán. Si

en alguna o todas las situaciones a simular esta restricción se levanta o se aminora aparecerá un flujo no nulo. También puede suceder lo inverso. En proyectos con reasignación este fenómeno será tratado por SATURN, pero en proyectos sin reasignación hay que estimar exógenamente los reruteos posibles en cada período y afectar los flujos en todos los arcos involucrados.

**8.2.3.5 Intersecciones complejas.** En este tipo de intersecciones, a que se hace alusión en el inciso 7.2.3.2b), hay líneas de detención muy próximas entre sí para ciertos movimientos. Algunos de ellos pueden experimentar detenciones en más de una (virajes a izquierda, seguramente) pero otros no lo harán. Si la geometría es relativamente uniforme, la capacidad de esas líneas de detención será similar y, en consecuencia, lo será su grado de saturación. Esto puede conducir a sobreestimar significativamente la componente excedente de colas y demoras. Se recomienda elevar artificialmente el flujo de saturación de las líneas de detención “interiores” de la intersección de modo que su grado de saturación resulte inferior a un 70%.

**8.2.3.6 Movimientos peatonales y de bicicletas.** Cuando los requerimientos específicos de un estudio contemplen un tratamiento explícito de demoras a este tipo de usuarios, habrá que incluir arcos que los representen. En el caso de los peatones estos serán arcos de entrada que llegan a una línea de detención propia en cada intersección; su capacidad estará en función del verde efectivo otorgado por la programación del semáforo y del flujo de saturación, que se puede estimar como 6000 pax/hr por metro de ancho de la zona de cruce en un sentido. En el caso de los bicicletas pueden constituir también arcos de entrada, pero pueden estar compartiendo o no línea de detención con arcos normales. Eso dependerá del diseño físico y operacional considerado.

**8.2.3.7 Flujos de saturación dependientes de la programación del semáforo.** Es éste un problema complejo que puede surgir por varios motivos, de los cuales depende el tratamiento recomendado.

**a) Virajes con oposición.** Si la oposición es de una corriente peatonal puede extenderse la pérdida en la partida para el arco vehicular afectado, en la magnitud del período de bloqueo. Si el movimiento opositor es vehicular hay que usar la facilidad de especificar simultáneamente tarjetas 30 y 31 para el movimiento afectado (ver Vincent, Mitchell y Robertson, 1980). En proyectos de gestión y si hay más de dos arcos opositores, habrá que estimar el flujo de saturación y el período de verde efectivo para ese viraje con SIDRA. El movimiento se modela en TRANSYT con esos parámetros y sin oposición.

**b) Pistas cortas.** En proyectos de cualquier tipo en que ellas hayan sido diseñadas para movimientos con grado de saturación superior al 80% en la situación actual, el flujo de saturación deberá ser obtenido con SIDRA.

**c) Bloqueo hacia atrás.** En proyectos con reasignación de flujos este fenómeno es recogido por SATURN e influye sobre los flujos por arco que se entregan a TRANSYT, lo que es suficiente. En proyectos sin reasignación de flujos no hay una manera rigurosa de tratarlo ya que es difícil predecir con exactitud su aparición. Si ha sido detectado en la situación actual y se ha empleado algún medio para introducirlo en la calibración, servirá de punto de referencia para la modelación en esta etapa. En todo caso, en el párrafo 8.4.1.5 se indica un procedimiento de diagnóstico para intentar que sea evitado, corrigiendo el diseño.

**8.2.3.8 Dispersión del tráfico.** La inconsistencia de la especificación del modelo contenido en la versión estándar de TRANSYT y debilidades de la distribución de tiempos de viaje que supone, hacen recomendar su sustitución por el modelo basado en una distribución triangular simétrica. Hay una versión de TRANSYT-8 que lo tiene incorporado (Gibson y Wityk, 1988). Es suficiente usar los parámetros de dispersión por defecto.

**8.2.3.9 Paraderos de buses.** En calles con flujos significativos de buses, en aquellos tramos de vía en que haya paradero se debe modelar éste. Es posible entonces que haya un arco de buses para aquellos que se detienen en el paradero y otro para los que no lo hacen.

El flujo de buses en cada uno de estos arcos puede cambiar fuertemente de un período a otro, así como el tiempo medio de parada. Por ahora, para todo tipo de proyecto se supondrá que esa proporción y el tiempo medio de parada se mantienen, período a período, entre cortes temporales y alternativas de diseño. En proyectos de gestión debe considerarse todo paradero de cierta importancia y dar valores lo más realistas posible a los tiempos de parada y a la proporción del flujo que para. En proyectos de infraestructura puede darse un tratamiento menos acucioso, siempre que sea igual para todas las situaciones consideradas.

## SECCION 8.3: PROCESO DE SIMULACION

### 8.3.1 ETAPAS DEL PROCESO

**8.3.1.1 Descripción esquemática.** Construidos los modelos para todas las situaciones que deben ser simuladas en el proyecto y procesados los datos correspondientes, procede hacer uso de los programas en el área de influencia del proyecto. Hay tres actividades principales en este proceso:

- codificación: entrada de datos en el formato propio de cada programa;
- ejecución de los programas: debido al cumplimiento de funciones diversas (optimización de semáforos y simulación de tráfico, en el caso de TRANSYT) y al uso combinado de programas en determinadas situaciones, se hace necesario iterar la ejecución de éstos;
- análisis y complementación de la simulación: los resultados son examinados para introducir, eventualmente, ajustes al diseño y hecho esto, hay que completar, según el caso, las estimaciones obtenidas para alimentar la evaluación del proyecto.

El contenido de estas actividades es abordado en lo que sigue de este Capítulo. Esta Sección se concentra en la segunda de ellas, dedicándose la Sección 8.4 a la tercera.

**8.3.1.2 Codificación.** El punto de partida está constituido por las redes calibradas para la situación actual. En la mayoría de los casos, la codificación consistirá en especificar los cambios asociados a la alternativa y el corte temporal para el período pertinente. Téngase presente que los flujos de saturación y los flujos vehiculares deben estar en  $\text{veq/hr}$ , para TRANSYT y SATURN; esto puede obligar a modificar los flujos de saturación para cada período en TRANSYT, por cambios en la composición por movimientos aunque la geometría permanezca constante. Reconociendo que hay alta probabilidad de que se produzcan errores de codificación no detestables automáticamente, es conveniente hacer corridas de prueba orientadas exclusivamente a validar la entrada de datos.

**8.3.1.3 Optimización de la programación de semáforos.** Como se indica en el acápite 7.2.4, ciertas variables de la programación (tiempo de ciclo, reparto y desfases) son determinadas con ayuda de TRANSYT, excepto en los contados casos en que no hay efectos de red significativos. La optimización se transforma en un proceso iterativo cuando hay reasignación de flujos o los flujos de saturación son dependientes de la programación. Esta actividad se analiza con más detalle en el acápite 8.3.2.

**8.3.1.4 Estimación de parámetros de las redes.** En los casos mencionados en el párrafo anterior son empleados otros programas computacionales para estimar los flujos o las capacidades. Surgen tres problemas que requieren ciertos criterios para manejarlos: en qué orden ejecutar los programas, cómo compatibilizar sus resultados y cuándo considerar que se ha logrado convergencia en el proceso iterativo. Estos problemas poseen características distintas según el tipo de proyecto y son abordados en los acápites 8.3.3 (proyectos sin reasignación) y 8.3.4 (proyectos con reasignación).

## **8.3.2 OPTIMIZACION DE LA PROGRAMACION DE SEMAFOROS**

**8.3.2.1 Variables a optimizar.** Se considera aquí el caso de proyectos en que hay redes de intersecciones semaforizadas, cuyo tratamiento ofrece mayores dificultades y es, con mucho, el más frecuente en los proyectos a los que se aplica esta metodología. Las variables son: tiempo de ciclo, reparto y desfases. El diseño de fases, entreverdes y verdes mínimos viene dado por el anteproyecto operacional. Sólo en ciertos proyectos de gestión (ver párrafo 7.2.4.2) se usará TRANSYT para decidir el diseño de fases.

**8.3.2.2 Criterio de optimización.** La determinación de un óptimo conjunto para las variables en estudio en una red es un problema teórico que está lejos de ser resuelto. Se recurre a métodos heurísticos. El enfoque recomendado consiste en: establecer el tiempo de ciclo en la red, con el procedimiento descrito en los párrafos siguientes; usar para el reparto el criterio de equisaturación, implementado automáticamente en TRANSYT, y optimizar sólo desfases con este programa. En la excepción señalada en el párrafo anterior, los repartos iniciales se fijarán por equisaturación y se hará optimización de desfases y repartos. En todo caso, el reparto de los nodos de frontera se fijará con un método especial, explicado en el párrafo 7.2.4.6.

**8.3.2.3 Selección del tiempo de ciclo.** Esta actividad tiene dos facetas: determinar el ciclo común en la red y, a la vez, qué nodos de ella quedan en ciclo simple y ciclo doble (mitad del tiempo de ciclo común). El procedimiento que se recomienda entrega una solución simultánea; no asegura unicidad de la solución ni que ésta corresponda a un óptimo global. Pero en las aplicaciones realizadas ha mostrado un buen comportamiento, superior al de otros métodos conocidos, y es sencillo de ejecutar. Un análisis fundamentado y ejemplos pueden encontrarse en Barrientos (1988).

**8.3.2.4 Procedimiento de selección.** Se hace una simulación de la red TRANSYT, con la opción que entrega información sobre el tiempo de ciclo. De la Tabla que entrega el

programa del índice de rendimiento para cada nodo  $i$  ( $IR_i$ ) bajo diversos ciclos, se toman los valores:

- $C_{oi}$ : tiempo de ciclo que minimiza  $IR_i$
- $IR^*_i$ : valor de  $IR_i$  para  $C_{oi}$

No se tienen en cuenta los nodos de frontera. Para los demás nodos, se define un intervalo  $[CI_i; CS_i]$  cuyos límites están dados por:

$$CI_i = \max \{0,8 C_{oi} ; C'_i : 40\} \text{ (seg)} \quad (8.3.2 - 1)$$

$$CS_i = \min \{1,5 C_{oi} ; C''_i : 120\} \text{ (seg)} \quad (8.3.2 - 2)$$

donde  $C'_i$  y  $C''_i$  son, respectivamente, el mínimo y el máximo tiempo de ciclo para el nodo  $i$  en que el valor de  $IR_i$ , no supera en más de 10% a  $IR^*_i$ . Como la Tabla entrega valores para ciertos tiempos de ciclo y no en forma continua, hay que interpolar si para dos ciclos consecutivos uno cumple la condición y el otro no. A continuación se define una partición del conjunto de nodos en dos subconjuntos. El primero ( $I_1$ ) agrupa los nodos que pueden formar un intervalo no vacío dado por:

$$N_1 = [\max_i CI_i ; \min_i CS_i], \quad i \in I_1. \quad (8.3.2 - 3)$$

Es posible que varios subconjuntos  $I_1$  satisfagan esta condición. Para cada uno, se forma otro subconjunto  $I_2$  con el resto de los nodos y se ve si en  $I_2$  se puede generar un intervalo **no vacío** dado por:

$$N_2 = [2 \max_i CI_i ; 2 \min_i CS_i], \quad i \in I_2 \quad (8.3.2 - 4)$$

Si no se cumple esta condición o resulta que  $N_1 \cap N_2 = \emptyset$ , se descarta esa partición. Son soluciones factibles las que satisfacen todas las condiciones. Su interpretación práctica es: el tiempo de ciclo común es un número par perteneciente al intervalo  $N_1 \cap N_2$ ; los nodos de

$I_1$ , quedan en ciclo simple y los de  $I_2$  en ciclo doble. Denotando el intervalo  $N_1 \cap N_2$  por  $[NI ; NS]$  se elige el número par más próximo a:

$$c = \frac{NS+2NI}{3} \quad (8.3.2 - 5)$$

**8.3.2.5 Casos especiales.** El procedimiento expuesto puede conducir a una sola partición factible, lo que resuelve el problema de inmediato, o a casos más complicados para los que se hacen las sugerencias siguientes.

**a) Múltiples soluciones.** Si hay una solución con todos los nodos en ciclo simple y otra con algunos nodos en ciclo doble, se prefiere la última. Si hay varias de éstas, prefíerese la que da el menor valor para  $c$  (ecuación 8.3.2-5).

**b) Ninguna solución.** Esta situación puede aparecer, probablemente, porque  $N_1 \cap N_2$  resulta vacía. Esto es, la cota superior del intervalo es menor que la inferior. Se busca la partición que da la menor diferencia entre estas cotas. Si ésta es menor que 5 seg. se adopta la estructura de ciclo simple y doble que corresponde a esa partición y un tiempo de ciclo común situado entre las cotas. Si la diferencia es mayor que 5 seg. debe hacerse una revisión del diseño de fases y de la capacidad en los nodos cuyos intervalos son decisivos para impedir que se encuentre una solución.

**c) Proyectos de gestión.** En este tipo de proyectos, si hay varias soluciones debe hacerse una optimización de desfases y repartos con cada una y elegir la de menor IR.

**8.3.2.6 Secuencia de optimización.** Para la optimización de desfases (o de desfases y repartos, si procede) se emplea la secuencia estándar de TRANSYT-8, si se está usando una versión que cumple la exigencia del párrafo 8.2.3.8. Si por alguna razón se trabaja con la versión estándar de TRANSYT-8, hay que hacer una cadena de optimizaciones utilizando los desfases óptimos de una corrida como iniciales de la siguiente. En cada una de éstas se especifica la secuencia estándar y es necesario hacer como mínimo tres corridas.

### **8.3.3 ITERACION EN PROYECTOS SIN REASIGNACION**

**8.3.3.1 Generalidades.** Esta situación se presenta cuando hay que usar SIDRA para proveer datos ajustados sobre la capacidad de movimientos cuyo flujo de saturación depende de la programación del semáforo. Los casos pertinentes son los indicados en el párrafo 8.2.3.7. Esta tarea deberá llevarse a cabo para todos los períodos en que dichos movimientos tengan un grado de saturación alto. Si en algunos períodos se dan condiciones similares se podrá hacer estimaciones por analogía, basadas en el período en que han sido empleados SIDRA y TRANSYT para la situación actual. Nótese que dentro de un proyecto puede haber alternativas de diseño en que este proceso es necesario y otras en que no lo es.

**8.3.3.2 Pasos a seguir.** El objetivo es obtener para el movimiento afectado una estimación realista de su capacidad y de la duración de su verde efectivo mediante SIDRA, para afinar su modelación en TRANSYT. Los pasos típicos recomendados son:

- seleccionar el tiempo de ciclo en la red con TRANSYT, de acuerdo con el procedimiento del acápite precedente;
- con el tiempo de ciclo correspondiente al nodo, determinar el reparto con SIDRA;
- imponer este reparto en TRANSYT y especificar el flujo de saturación y el verde efectivo derivados de SIDRA, según se indica mas abajo;
- optimizar sólo desfases con TRANSYT.

Esta secuencia evita el uso repetido de ambos programas y, por lo tanto, no hay problemas de convergencia. Si los repartos de varios nodos de la red son determinados con SIDRA, conviene revisar la selección del tiempo de ciclo. Para ello se simula con TRANSYT la red, con repartos y flujos de saturación de SIDRA, y se analiza si el IR cambia significativamente con respecto al dado por una simulación con los parámetros previos y repartos por equisaturación. De ser así, una reducción del tiempo de ciclo será normalmente provechosa. Definido éste y los repartos, se realiza la optimización de desfases.

**8.3.3.3 Compatibilización de la capacidad.** Se identifica la equivalencia de la línea de detención a la que está asociada el movimiento en TRANSYT y las pistas modeladas en SIDRA. Debe verificarse que haya consistencia en cuanto a los arcos que comprende la línea de detención y los movimientos que comparten las pistas, si es el caso. De no ser así, la modelación será corregida. La compatibilidad se consigue haciendo que la capacidad de la línea de detención sea igual a la suma de las capacidades de las pistas correspondientes, estimadas con SIDRA. Previamente, éstas deben ser llevadas a  $v_{eq}/hr$ .

**8.3.3.4 Especificación en TRANSYT.** Incluye dos aspectos: el reparto del nodo y la capacidad del movimiento afectado.

a) **Reparto del nodo.** Si en la red hay otros nodos cuyos repartos son determinados por equisaturación con TRANSYT debe cuidarse de imponer el reparto dado por SIDRA para el nodo en cuestión después de obtener los otros. Esta imposición se hace a través de los instantes de cambio de fase, para la situación inicial.

b) **capacidad del movimiento.** Interesa respetar la capacidad y el verde efectivo dados por SIDRA para obtener una buena estimación de demoras con TRANSYT. La duración del verde efectivo para el movimiento (y los que comparten línea de detención con él) será la que entrega SIDRA. La consistencia de éste con el reparto del nodo (fases) exige un uso adecuado de los retardos inicial y final para el arco, en las tarjetas 31 de TRANSYT. El flujo de saturación quedará dado por:

$$s = \frac{Qc}{v_e}$$

(8.3.3 - 1)

donde  $c$  es el tiempo de ciclo,  $v_e$  el verde efectivo, y  $Q$  la capacidad de la línea de detención. Los dos últimos parámetros son obtenidos de SIDRA, en la Tabla que entrega resultados **por pista** de su listado de salida.

**8.3.3.5 Longitud de pistas cortas.** Cuando el uso de ambos programas haya sido originado por la existencia de pistas cortas, se debe primero revisar que la longitud de ésta sea correcta. Para ello se examina con SIDRA sólo el período más desfavorable. La longitud debe ser tal que en este período no se produzca transferencia de flujo a la pista contigua. Si hay que extender la pista con respecto a lo previsto debe verificarse la factibilidad física y modificar consecuentemente el anteproyecto. Establecida la longitud definitiva se realiza el análisis de capacidad.

### **8.3.4 ITERACION EN PROYECTOS CON REASIGNACION**

**8.3.4.1 Generalidades.** El uso conjunto de TRANSYT y SATURN en este tipo de proyectos tiene por objeto tratar adecuadamente los complejos efectos de red asociados a modificaciones de la vialidad o de la regulación de su uso. Cambios en la elección de ruta de los usuarios y la consiguiente adaptación del control de las intersecciones pueden significar variaciones sustanciales del consumo de recursos en la red. El hecho que ambos programas emplean en su módulo de simulación histogramas cíclicos de flujo provee una buena base para una modelación coherente. Sin embargo, hay diferencias en cuanto a la representación del tráfico mixto que restringen la similitud (véase Gibson, Farah y Erazo, 1985) y originan problemas de compatibilización. Por otra parte, obtener flujos con SATURN con una programación de semáforos dada por TRANSYT y viceversa, es un proceso cuya convergencia no está garantizada y que puede implicar un gran consumo de recursos. Como se han calibrado las redes para la situación actual es posible sugerir pautas no muy exigentes para regir esta iteración. Ellas están orientadas a fortalecer la consistencia en el uso de los programas, de forma que aunque no se alcance plena convergencia, la estimación de beneficios no esté sujeta a circunstancias anómalas. Al aplicar dichas pautas téngase presente que el área modelada con TRANSYT es menor que la de SATURN, ya que cubre únicamente el área de influencia del proyecto.

**8.3.4.2 Secuencia del proceso.** Hecha la codificación de las redes a simular, a partir de las calibradas para la situación actual o empleadas en la selección de alternativas, se contemplan tres fases, a saber:

- inicialización: se trata de producir una estimación inicial razonable para los flujos y la programación de los semáforos;
- ajuste: consiste en refinar la modelación y producir una selección definitiva del tiempo de ciclo;
- convergencia: apunta a encontrar una solución de equilibrio para flujos, repartos y desfases, basada en los pasos anteriores.

Las fases primera y última están centradas en iteraciones de los programas, en tanto que la segunda está enfocada a su compatibilización. En los párrafos siguientes se presenta el procedimiento recomendado.

**8.3.4.3 Inicialización.** Las redes calibradas para la situación actual no podrán, en general, ser consideradas como buenas soluciones iniciales de por sí ya que normalmente habrá cambios significativos en el diseño o en la demanda. Para generar un patrón de flujos mínimamente representativo de las nuevas condiciones en la red, los pasos a seguir son:

- hacer una primera asignación con SATURN, usando la programación de semáforos del período correspondiente en la situación actual. Use el mínimo número de intervalos en un ciclo para SATURN;
- con los flujos así obtenidos, hacer la programación de los semáforos de acuerdo con las indicaciones del acápite 7.2.4 y optimizarla con los procedimientos del acápite 8.3.2;
- con esta programación, volver a asignar con SATURN, siempre con el mínimo número de intervalos.

Los flujos resultantes y la programación de los semáforos del segundo paso constituyen la solución inicial. Las redes empleadas en la selección de alternativas pueden servir directamente como solución inicial para la simulación de los anteproyectos, ya que los pasos indicados habrán sido dados en la estimación preliminar de beneficios.

**8.3.4.4 Ajuste.** Con el patrón de flujos de la solución inicial se recalculan los flujos de saturación (en  $\text{veq/hr}$ ) en TRANSYT y se simula esa solución. Debe analizarse la compatibilidad de esta simulación con la de SATURN, a la luz de las correspondencias logradas en la etapa de calibración de la situación actual. Hechas las correcciones a la modelación que se estime necesarias en cada caso, hay que revisar si los valores especificados para los tiempos de viaje en los arcos alterados por el proyecto son razonables en vista de los flujos que soportan. Los cambios que eventualmente se introduzcan deben ser homogéneos, para los vehículos sin ruta fija, en TRANSYT y

SATURN. Completado este proceso, se revisa íntegramente la optimización de los semáforos, incluyendo el ciclo común y los nodos que quedan en ciclo simple y doble.

**8.3.4.5 Convergencia.** Con la nueva programación de los semáforos, se asigna con SATURN, con el número de intervalos recomendado en el inciso 8.2.2.3c). Con los flujos resultantes, se determinan repartos por equisaturación y se optimizan desfases con TRANSYT, y se repite la asignación con SATURN. La solución obtenida se simula con TRANSYT, previo ajuste de los flujos de saturación. En proyectos de infraestructura esta será la solución a emplear para evaluación, a menos que haya indicios severos de convergencia insuficiente. En proyectos de gestión, la red será comparada con la situación inicial de la anterior corrida de TRANSYT. Si en uno de los indicadores globales “distancia total viajada” o “índice de rendimiento” hay una diferencia superior a un 5% deberá continuarse iterando.

**8.3.4.6 Convergencia interna de SATURN.** Hay una iteración interna asignación simulación que el modelador controla. Para dar por finalizada una corrida del programa es necesario que se haya logrado una razonable convergencia en este proceso. Esto depende de la etapa en que se esté. Así por ejemplo, al calibrar la situación actual es poco importante esta convergencia cuando se está aun corrigiendo los aspectos estructurales de la modelación. Al contrario, en las corridas en la última fase para evaluación, el grado de convergencia interna debe ser alto.

**8.3.4.7 Homogeneidad entre alternativas.** Es esencial que los criterios de compatibilización y convergencia sean homogéneos para todas las situaciones que son simuladas en cada proyecto. Esto se facilita si se trabajan ellas en paralelo, para cada período en cada corte temporal.

## SECCION 8.4: USO DE LA SIMULACION

### 8.4.1 AFINAMIENTO DEL ANTEPROYECTO

**8.4.1.1 Justificación.** Aunque la sucesión de etapas y los procedimientos para cada una de ellas que contiene este Manual producen, desde temprano, interacción de diseño y simulación y ofrecen numerosas instancias de verificación de las redes, no es improbable que al terminar la simulación queden problemas no detectados. El desarrollo real de los estudios está siempre influido por la presión del tiempo, y el manejo de cantidades considerables de cifras (como las de un modelo de red) no hace fácil visualizar lo que ellas representan. Conviene entonces dar una mirada estructurada a los resultados antes de proceder a su evaluación.

**8.4.1.2 Alcance del afinamiento.** Se trata de detectar y corregir deficiencias del diseño físico u operacional de carácter menor pero que pueden ser influyentes en la comparación de alternativas. No cabe aquí hacer modificaciones sustantivas que, en realidad, se conviertan en nuevas alternativas. Importa también que el afinamiento guarde similitud en su tratamiento entre las alternativas de diseño.

**8.4.1.3 Procedimiento.** Para contribuir a que esta actividad se realice con cierta sistematicidad es clave que la detección de los problemas surja de una manera objetiva. La forma de abordar estos problemas puede variar mucho según el caso y no se trata aquí. En los párrafos siguientes se propone algunos indicadores para detección, globales y locales, sencillos de generar, incluyendo comentarios acerca de su interpretación. Estos indicadores pueden ser completados o sustituidos por otros que se juzgue son más apropiados para un proyecto determinado.

**8.4.1.4 Indicadores globales.** Con el listado de salida de la última corrida de TRANSYT se construye, por período y corte temporal, una Tabla con la distancia total viajada (DV) y el tiempo total empleado (TT), desagregados entre buses y tráfico general, en la situación base (si la hay) y cada alternativa de diseño. Esta Tabla dará una idea sintética bastante

fidedigna de lo que se puede esperar de la estimación de beneficios. Situaciones que invitan a revisar el diseño son, entre otras:

- variaciones de DV y TT con respecto a la situación base, de signo contrario, en un mismo período;
- variaciones de signo contrario o de magnitud porcentual muy distinta entre períodos para una misma alternativa;
- variaciones importantes de alguno de esos indicadores para un tipo de vehículo que no se pretendía afectar mayormente con el proyecto.

**8.4.1.5 Indicadores locales.** La existencia de problemas en lugares específicos de la red puede ser identificada con una simple revisión de la salida de TRANSYT, a nivel de arco. Un grado de saturación alto ( $> 90\%$ ) o una extensión máxima de la cola que supera la capacidad de almacenamiento del arco (señalada automáticamente por el programa) son indicadores útiles. Es posible que un grado de saturación alto no sea sorprendente, especialmente en la situación base. En cambio, una cola excesiva debe merecer preocupación pues seguramente conllevará bloqueo hacia atrás y las demoras estarán subestimadas. Cuando se encuentre una situación de este tipo es **necesario** modificar el diseño físico u operacional; el objetivo a perseguir es que no se supere, aproximadamente, el 50% de la capacidad de almacenamiento para arcos de longitud inferior a 60m ó un 75%, si la longitud es mayor. Un tercer aspecto puntual, no tan directo pero con frecuencia relevante, es la situación en que quedan virajes alterados por el diseño físico. Se sugiere en esos casos comparar el tiempo total empleado en el arco, o secuencia de ellos, que los representa en la situación base y en las alternativas de diseño.

**8.4.1.6 Simulación definitiva.** Las modificaciones que se haya decidido realizar deben ser codificadas en las redes correspondientes. Como serán de menor envergadura no es necesario repetir todo el proceso de simulación. Puede ser suficiente una sola iteración, a partir de la solución previa, si se está usando más de un programa. El modo particular de completar la solución será determinado de común acuerdo con el supervisor del estudio, ateniéndose a las peculiaridades del proyecto y a las modificaciones efectuadas.



## **8.4.2 RESULTADOS PARA EVALUACION**

**8.4.2.1 Generalidades.** La simulación definitiva de cada situación considerada entrega una serie de variables físicas que describen la circulación en el área de influencia. La evaluación del proyecto, tanto para la estimación de beneficios como la de otros impactos, se apoya fuertemente en estas variables. Algunos recursos están muy directamente relacionados con ellos, otros requieren la aplicación de funciones de transformación. Pero hay también algunos impactos que no quedan recogidos en la simulación, en el estado actual de los programas computacionales empleados, y precisan de estimaciones complementarias. Por otra parte, la información producida tiene usos de carácter más cualitativo en la comparación de alternativas. Estos temas se desarrollan sucintamente a continuación.

**8.4.2.2 Impactos derivables de la simulación.** En primer lugar, el tiempo de los usuarios sólo requiere multiplicar los tiempos totales en cada arco por la tasa de ocupación. A su vez, hay costos de operación asociados a la distancia total viajada en la red. El consumo de combustible se estima a partir de longitudes de arcos y detenciones, pasando por factores de consumo ligados a la velocidad de recorrido, y de las demoras, con un factor de consumo al ralentí. Similares relaciones permiten estimar la emisión de contaminantes. Los métodos para llevar a cabo estas estimaciones son explicadas en las Secciones 9.3 y 10.3. Cuando, por tratarse de casos especiales, no se usa TRANSYT para simular es indispensable generar las variables físicas en el mismo formato que éste las entrega, para hacer la evaluación consistentemente.

**8.4.2.3 Estimaciones complementarias.** Ciertos fenómenos que pueden ser de interés para la evaluación no están vinculados directamente, o de una forma bien conocida, a las variables estimadas en la simulación. Es el caso de la producción de accidentes y de los conflictos funcionales estacionamiento y paradas de transporte público). También de impactos sociales y ambientales que se originan, total o parcialmente, en ellos o en otros fenómenos representados en los modelos. Mientras no se avance en el conocimiento de

tales problemas y en la integración de él a los programas computacionales en uso, habrá que recurrir a estimaciones exógenas a éstos si hay impactos de esa clase incluidos en la evaluación. Adicionalmente, en intersecciones no semaforizadas hay que incorporar las demoras geométricas, actualmente no contabilizadas en TRANSYT. El acápite 8.4.3 trata de estas materias.

**8.4.2.4 Usos cualitativos.** Los indicadores de rentabilidad social que produce la evaluación económica constituyen una imagen (inevitablemente) muy agregada de las cualidades de una alternativa. A pesar de la desagregación de los impactos estipulada en el Capítulo 11, en tanto ella se mantiene al nivel de red hay aspectos de efectividad de la solución que no quedan suficientemente reflejados. Esta efectividad es un elemento de juicio interesante para la apreciación de conjunto que debe preceder a la selección de una alternativa. Una manera, por supuesto imperfecta, de medirla es la siguiente. En el diagnóstico y generación de alternativas queda individualizado el conjunto de problemas que preferentemente se pretende resolver (ver párrafo 3.3.2.5). La proporción de los ahorros en el tiempo total que representan los movimientos involucrados es un indicador de efectividad. Para calcularlo, basta computar las diferencias en esa variable que se han predicho para los arcos pertinentes y dividirlos por el total correspondiente, que figura en la Tabla referida en el párrafo 8.4.1.4. Este ejercicio arroja luces para ponderar los análisis de sensibilidad especificados en el Capítulo 9.

### 8.4.3 ESTIMACIONES COMPLEMENTARIAS

**8.4.3.1 Demoras geométricas en intersecciones no semaforizadas.** Aunque en la modelación de este tipo de intersecciones en TRANSYT se incluya una descripción detallada de la geometría interior de la intersección, importante en el caso de las rotondas, y sean estimadas las demoras por cola, las demoras geométricas, no estarán incorporadas. Estas engloban los tiempos perdidos por aceleración y desaceleración y un tiempo mínimo de chequeo de si existe vehículo en la(s) rama(s) prioritaria(s) a quien ceder el paso. Este tipo de demora se produce con independencia de que haya cola, en todo movimiento no prioritario o de viraje. Para estimar su valor se recomienda lo siguiente, basado en McDonald, Hounsell y Kimber (1984).

**a) Intersecciones reguladas por señal de prioridad.** Para vehículos livianos la demora geométrica está dada por la Tabla 8.4.3 (I).

**TABLA 8.4.3 (I)**  
**DEMORA GEOMETRICA PARA VEHICULOS LIVIANOS**  
**(En segundos)**

Movimiento	Hecho desde rama	
	Secundaria	Prioritaria
Viraje a derecha	8	6
Viraje a izquierda	11	7
Directo	12	0

En caso que la velocidad de aproximación de los vehículos, en la rama respectiva, sea superior a 65 Kph, hay que añadir 2 seg. a los valores, excepto para el movimiento directo desde rama prioritaria. Asimismo, si la visibilidad es pobre se agregan 2 segundos. Para los vehículos pesados se emplean los valores de la Tabla aumentados en un 25%.

**b) Rotondas a nivel.** Para vehículos livianos, la demora geométrica ( $d_g$ ) está dada por:

$$d_g = 3.1 + 0.72 (Y - V_I) \text{ (seg)}$$

(8.4.3 - 1a)

donde

$$V_I = 2 + 0.96 \sqrt{DI}$$

(8.4.3 - 1b)

y

$Y$  = velocidad promedio de aproximación a la rotonda, en m/seg;

$DI$  = diámetro del círculo inscrito en la rotonda, en m.

Para los vehículos pesados este valor se aumenta en 15%. Obviamente, para cada acceso se calcula un valor por separado pues  $Y$  puede ser distinto entre ellos.

La demora geométrica obtenida con estos procedimientos debe sumarse a la que entrega TRANSYT para la estimación del consumo de recursos en cada situación considerada.

**8.4.3.2 Accidentes.** No hay todavía una base suficiente en el país para recomendar procedimientos generales de estimación de tasas de ocurrencia de accidentes. Si se ha decidido incluir este aspecto en la evaluación de un proyecto determinado, la predicción debe hacerse con métodos ad-hoc, aprovechando las investigaciones nacionales disponibles. Los datos recogidos para la situación actual constituyen un punto de referencia para ajustar las técnicas de predicción.

**8.4.3.3 Otros fenómenos.** La consideración explícita de consecuencias en materia de, por ejemplo, estacionamiento en la calzada u operación de vehículos de transporte público en

paraderos, puede ser relevante en ciertos proyectos. Sin embargo, esta versión del Manual no contiene recomendaciones al respecto. La forma de tratarlos estará sujeta a los métodos que se acuerden con el supervisor del estudio.

## **PARTE III**

# **EVALUACION SOCIAL DE ALTERNATIVAS**

## **CAPITULO 9: CONCEPTOS GENERALES Y EVALUACION ECONOMICA**

### **SECCION 9.1: ASPECTOS GENERALES DE LA EVALUACION**

#### **9.1.1 OBJETIVOS**

**9.1.1.1 Definición.** La evaluación de alternativas tiene como objetivo esencial entregar la información relevante que sirva de apoyo al proceso de toma de decisiones. Dicha información tiene una relación directa con los objetivos que se persigue para el estudio en consideración. En la medida en que se aborda un problema de asignación de recursos sociales, deben ser incorporados tanto objetivos nacionales de desarrollo y de eficiencia en el uso de recursos, como objetivos locales de un alcance mas específico para los grupos y el área directamente afectada. Los resultados de la evaluación que se entreguen deben:

- Ser comprensibles tanto a nivel técnico como de toma de decisiones.
- Mostrar los diferentes impactos, económicos, sociales y ambientales que provoca cada alternativa bajo análisis.
- Mostrar los impactos, positivos o negativos, a nivel de los principales grupos afectados.

**9.1.1.2 Objetivos nacionales.** Pueden destacarse, entre otros, los siguientes objetivos nacionales en relación al sector:

- Apoyar el proceso de desarrollo nacional proveyendo el nivel de servicio que se requiere para la infraestructura vial urbana.
- Asegurar un uso eficiente de los recursos en inversión, conservación y gestión de la infraestructura vial urbana, así como de la operación del sistema de transporte urbano en su conjunto.
- Aumentar los niveles de seguridad en la utilización del sistema vial urbano.
- Mejorar las condiciones ambientales y de habitabilidad de los centros urbanos.

**9.1.1.3 Objetivos locales.** Pueden plantearse múltiples objetivos locales, entre otros:

- Favorecer el desarrollo de ciertos sectores específicos: comercio, industria, turismo, etc.-
- Favorecer la movilidad y/o condiciones de seguridad en el transporte de uno o más grupos preferentes: peatones, ciclistas, escolares, ancianos, usuarios de transporte público, grupos de extrema pobreza, etc.
- Desarrollar áreas verdes o recreacionales.
- Favorecer la integración local.
- Mejorar las condiciones del medio ambiente: contaminación de aire, ruido, efectos estéticos, etc.

**9.1.1.4 Objetivos en conflicto.** La gran cantidad de objetivos e impactos diferenciados que es posible encontrar en la búsqueda de soluciones a problemas de vialidad urbana, conlleva normalmente a 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, deben permitir una correcta toma de decisiones.

## **9.1.2 FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE EVALUACION**

**9.1.2.1 Efectos sobre la demanda de viajes.** Un punto de partida básico es que no son considerados en esta etapa los beneficios de un proyecto asociados a cambios en la matrices origen-destino por modo. Es decir, no son tratados beneficios por generación de tránsito (nuevos viajes en la red), transferencias de tránsito (modificación de la distribución de los viajes) y cambios en la elección de modo de los usuarios. En los proyectos no estructurales se supone que este tipo de efectos no se producirá o será de escasa significación; por lo tanto, es irrelevante excluirlos de la evaluación. Al contrario, los proyectos estructurales tienen impactos en esos terrenos pero se supone que entre las alternativas de diseño de un cierto proyecto no hay variaciones en la demanda. Luego, al sólo comparar alternativas entre sí no hay problema en limitarse a incluir los beneficios para los viajes de matrices O-D por modo dadas. Es decir, para proyectos estructurales la evaluación propiamente tal debe hacerse en el nivel estratégico pero es lícito seleccionar alternativas en este nivel táctico. La consistencia de ambos niveles se busca a través de procedimientos especiales recomendados en la Sección 9.6. Por estos motivos, para proyectos no estructurales se incorpora una situación base, no así para los estructurales. En éstos, la alternativa de menor costo de inversión se toma como referencia.

**9.1.2.2 Definición de la situación base.** El proceso de evaluación de alternativas requiere definir una situación base que servirá de referencia para la estimación de beneficios, costos e indicadores de rentabilidad. Se entiende, por lo tanto, que la alternativa de referencia puede ser la seleccionada por lo cual debe ser factible de implementar además de cumplir las condiciones mínimas de funcionamiento impuestas para el conjunto de alternativas (ver Sección 4.1). Por definición, la situación base no debe ser sometida a evaluación, incluyéndose en ella aquellos mejoramientos en gestión y/o rediseños cuya rentabilidad esté asegurada. En aquellos casos en que el monto de las inversiones de la situación base supere el 10% de la inversión media de las alternativas en estudio se recomienda evaluar la situación base en relación a la situación actual. Si supera el 20% debe ser evaluada, cambiándose por lo tanto la situación de referencia. Por último, si dentro del período de evaluación, y por lo tanto de comparación de alternativas, la situación base adquiere un

elevado nivel de saturación puede resultar aconsejable plantear mejoramientos en ella en algún año intermedio (por ejemplo, año 10).

**9.1.2.3 Valoración de recursos.** La evaluación económica se realiza comparando las diversas alternativas con la situación base como referencia (equivalente a situaciones sin y con proyecto) durante la vida útil económica definida para el estudio. La comparación se efectúa considerando el valor social de los recursos consumidos. En algunos casos la valoración social deberá ser estimada por el margen de la demanda del recurso (disponibilidad a pagar, eventualmente corregida por factores de equidad que consideran distribución de ingreso) y en otros por el margen de la oferta (costos de producción menos transferencias). Para los recursos básicos mano de obra y divisas deben utilizarse los factores de corrección al precio de mercado indicados por ODEPLAN. Otros parámetros sociales de importancia para el proceso de valoración de recursos pueden ser sugeridos directamente por la Comisión de Transporte Urbano. La evaluación financiera a precios privados en este tipo de proyectos no resulta relevante dado que los costos y/o beneficios son percibidos por distintos grupos o instituciones.

**9.1.2.4 Evaluación de impactos.** De los múltiples objetivos (especificados o no) que es posible plantear en proyectos de vialidad urbana sólo sobre algunos de ellos es posible medir el impacto causado en términos económicos. En el estado actual de conocimiento se presentan situaciones como las siguientes.

- Impactos con dificultades de estimación por no poseer una unidad clara de medida (por ejemplo, efectos estéticos).
- Impactos con dificultad de predicción en los cambios provocados por cada alternativa (por ejemplo, ruido, contaminación de aire, accidentes). Algunos de estos o los anteriores se consideran en el proceso vía restricciones al diseño físico u operativo. Por ejemplo, los atropellamientos, vía verdes mínimas para peatones en la programación de semáforos y/o diseño de islotes peatonales. O bien los efectos estéticos, vía no consideración de pasos sobre nivel.
- Impactos sobre bienes no transables por lo cual no poseen un precio de mercado de referencia (por ejemplo, vida humana, tiempo de viaje, uso de áreas verdes, etc.)

Para algunos de ellos se ha desarrollado procedimientos de estimación vía modelos de comportamiento.

Impactos cuantificables con precisión a través de la utilización de modelos de simulación de tránsito, recogiendo fundamentalmente efectos sobre los usuarios directos de las vías de transporte. Se incluye también en esta clasificación la estimación de costos de inversión y eventualmente conservación de la infraestructura.

Los diversos impactos a que se ha hecho alusión, se agrupan en este Manual en dos tipos de evaluación: económica, que incorpora todos aquellos impactos en que es posible hacer una estimación confiable en términos monetarios, a precios sociales, y social y ambiental, incorporando en ella, según corresponda, todos los otros impactos de relevancia.

### **9.1.3 IMPACTOS CONSIDERADOS EN LA EVALUACION ECONOMICA**

**9.1.3.1 Definición.** Los impactos considerados en la evaluación económica serán todos aquellos en que resulta posible y aconsejable hacer una estimación monetaria, a precios sociales, de los recursos afectados por el proceso de comparación de alternativas. La clasificación principal reduce la evaluación económica a la determinación de costos de inversión y beneficios económicos. En la Tabla 9.1.3 (1) se presenta un esquema del tipo de impactos a considerar, la fuente de estimación y los grupos afectados. La clasificación propuesta tiene algún grado de arbitrariedad (en determinados proyectos puede haber beneficios con signo negativo) y no necesariamente es exhaustiva (pueden agregarse, en determinados casos, otros impactos económicos). No se incluye transferencias que pueden modificar sustancialmente el análisis de grupos (p.ej. vía impuestos).

**9.1.3.2. Costos de inversión.** Considera todos los recursos necesarios para la construcción de las obras en los períodos correspondientes, incluyendo los sistemas operativos necesarios para su óptimo funcionamiento. Estos últimos adquirirán especial relevancia y su situación deberá ser más precisa en proyectos de gestión. De acuerdo con las características del proyecto y alternativas en estudio podrá ser necesario agregar- a los costos de construcción una estimación de los costos de congestión durante la construcción. Con fines de evaluación el costo de inversión de una alternativa corresponde al costo diferencial con relación al de la situación base a la alternativa de referencia.

**9.1.3.3 Beneficios económicos.** En beneficios económicos se incluyen todos los impactos económicamente cuantificables provocados por la inversión de cada alternativa, obtenidos como diferencial con respecto a una situación de referencia. Se pueden clasificar en dos grandes grupos: beneficios económicos provenientes de impactos sobre el tránsito vehicular, cuya estimación provendrá fundamentalmente de modelos de simulación de tráfico; y otros beneficios económicos, que incluyen impactos sobre otros usuarios además del valor residual considerado al final de la vida útil económica de cada alternativa. Se excluye en esta versión del Manual la consideración de beneficios al tránsito vehicular provenientes de mejoramientos en la carpeta de rodadura.

**9.1.3.4 Análisis de grupos.** La presentación de los beneficios económicos del proyecto según los diferentes usuarios del sistema de transporte permitirá hacer un análisis de los grupos favorecidos o perjudicados por cada alternativa. Este análisis debe ser complementado por los impactos sociales y de medio ambiente, negativos o positivos, sobre cada uno de ellos.

**TABLA 9.1.3 (I)  
IMPACTOS ECONOMICOS**

EVALUACION DE	FUENTE DE ESTIMACION	TIPO DE IMPACTO	GRUPO AFECTADO
Beneficios	Modelación de tránsito	* tiempo de usuarios * combustible * otros costos de operación	Usuarios sistema de transporte: * pasajeros y conductores de vehículos * operadores transporte privado y público
	Modelos ad-hoc	* tiempo de otros usuarios	* peatones, usuarios de bicicletas
	Anteproyecto físico (*) y operacional	* gestión de tránsito * fiscalización * conservación de infraestructura.	* gobierno
	Evaluación prediseño	* valor residual	* todos los grupos
Costos de Inversión	Anteproyecto físico	* construcción de obras * congestión durante la construcción.	* gobierno * usuarios sistema de transporte

(\*) De consideración eventual en proyectos de gestión en vialidad urbana

## **9.1.4 IMPACTOS CONSIDERADOS EN LA EVALUACION SOCIAL Y AMBIENTAL**

**9.1.4.1 Definición.** Se incluye en este tipo de impactos a todos aquellos efectos positivos o negativos de un proyecto que, siendo de relevancia para el estudio (explicitados o no en los objetivos), no quedan considerados en la evaluación económica. Este análisis adquiere de esta forma un carácter complementario a la evaluación económica, estableciéndose entre ambos el conjunto de elementos que servirán a la autoridad competente para tomar una decisión.

**9.1.4.2 Impactos sociales.** Un proyecto de vialidad en un contexto urbano puede provocar un número apreciable de impactos sociales que no quedan recogidos en la evaluación económica. Algunos de ellos pueden ser:

- disminución o aumento de áreas verdes;
- cambios en uso de suelo producto de expropiaciones;
- efectos sobre peatones y bicicletas siempre que no hayan sido incorporados en la evaluación económica;
- aumento o disminución de oferta de estacionamientos;
- accidentes.

**9.1.4.3 Impactos sobre el medio ambiente.** Los impactos más usuales sobre la calidad ambiental son.- contaminación de aire, ruido, intrusión visual y vibraciones.

En el capítulo 10 se describen formas de incorporar algunos de ellos en el proceso de evaluación.

## 9.1.5 CRITERIOS DE RENTABILIDAD Y PROYECCION DE BENEFICIOS

**9.1.5.1 Introducción.** Los proyectos de vialidad urbana presentan algunas características particulares que justifican un tratamiento especial en la utilización de indicadores de rentabilidad y proyección de beneficios. Las más importantes son:

- Carácter creciente de los flujos, lo cual permite esperar una estructura de consumo de recursos y beneficios también creciente. En este sentido, la utilización de indicadores de rentabilidad de corto plazo plantea una serie de ventajas.
- Alta complejidad en la simulación de cada una de las alternativas para cada período de modelación. Esta característica hace en la práctica imposible simular todos los períodos para cada año de plazo de evaluación, siendo necesario desarrollar procedimientos ad-hoc de proyección de beneficios.

**9.1.5.2 Criterios de rentabilidad de corto plazo.** Su utilización es adecuada cuando los beneficios son crecientes y cuando el incremento relativo de los beneficios entre alternativas se mantiene aproximadamente constante. Alternativas que significan montos de inversión y capacidad de reserva significativamente diferentes deben evaluarse utilizando indicadores de largo plazo. Los indicadores de corto plazo que se sugiere son:

**a) Tasa de rentabilidad Inmediata.** Está dada por

$$TRI = b_1 / I_0 \quad \text{en que:}$$

TRI : tasa de rentabilidad inmediata ( o tasa de retorno de primer año) y corresponde al valor de la tasa de actualización social (a) que hace cero el valor actualizado neto del primer año;

$b_1$  : beneficios del primer año de funcionamiento del proyecto;

$I_0$  : inversión actualizada al año anterior al primero de funcionamiento.

Si TRI es mayor que la tasa de actualización social (a) vigente, el proyecto se considera rentable.

**b) Valor actualizado neto.** Para el primer año se calcula con:

$$VAN_1 = (b_1 - I_0 * a) / (1 + a)$$

en que:

$VAN_1$  : valor actualizado neto de primer año. Corresponde al costo de postergar un año el proyecto;

a: : tasa de actualización social.

**9.1.5.3 Criterios de rentabilidad de largo plazo.** Los indicadores usuales de largo plazo corresponden al Valor Actualizado Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la razón Beneficio-Costo (B/C) o Valor Actualizado Neto por unidad de inversión (IVAN). Los dos últimos resultan aconsejables cuando se trata de decidir entre proyectos que disputan un mismo presupuesto. La descripción de estos indicadores se encuentra en diversos textos de evaluación de proyectos.

**9.1.5.4 Proyección de beneficios.** Los proyectos son clasificados de acuerdo a sus características (ver acápite 1.2.2), lo que define su metodología de evaluación. Los proyectos de gestión no estructural no requerirán proyección de beneficios, evaluándose a partir de indicadores de corto plazo. Para los otros tipos de proyecto se recomienda lo siguiente:

**a) Proyectos estructurales.** Se modelan tres años (base y dos cortes temporales) y se obtiene beneficios anuales para cada uno de ellos. Los beneficios para el resto de los años se obtienen por interpolación. El plazo de evaluación usual, salvo que se especifique lo contrario, será de 20 años.

**b) Proyectos de infraestructura sin reasignación.** La proyección de beneficios se obtiene a partir de la curva de beneficios por hora para cada periodo simulado, teniendo como limite en el crecimiento del flujo la capacidad existente en los accesos al área modelada. Esta capacidad se supone invariante entre las situaciones base y las alternativas de proyecto (ver párrafo 9.5.2.1).

c) **Proyectos de infraestructura con reasignación.** En este caso se simula la operación en el primer año de funcionamiento y en un año intermedio (año 10 para proyectos de 20 años de vida útil económica) para los cuales se obtiene el beneficio anual. Los beneficios en los otros años se interpelan (años 2 al 9) y extrapolan (años 11 al 20).

## SECCION 9.2: COSTOS DE INVERSION

### 9.2.1 ASPECTOS GENERALES

**9.2.1.1 Definición.** 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 (ver Sección 9.3). 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. Los costos de inversión consideran fundamentalmente los costos asociados al suelo urbano, a la construcción de las obras, incluyendo los costos de los sistemas de operación y control de tránsito, así como los del proyecto definitivo de ingeniería y de asesoría y supervisión a la construcción. En determinados casos será importante considerar los costos de congestión durante la construcción.

**9.2.1.2 Algunos conceptos básicos.** Los costos de inversión deben determinarse tanto a precios de mercado, con fines de asignación presupuestaria, como a precios sociales con fines de evaluación. Algunos elementos importantes de considerar son:

- 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, utilidades supernormales o monopólicas cuando existan, etc.) De esta forma se deberá intentar 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 ODEPLAN.
- Todos los costos en que se haya incurrido, previo a la toma de decisiones de inversión, cuyas partidas no correspondan a bienes transables con un costo de oportunidad social positivo, no deben considerarse en el costo de inversión de la alternativa en estudio. Por ejemplo, el costo de ingeniería de prediseño y el costo de obras civiles construidas que no tengan uso alternativo.

- Debe 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 de la tierra, aún cuando ya esté disponible para el proyecto por ser de propiedad pública.
- Será importante considerar en los costos de inversión, y por lo tanto en la evaluación económica, los costos de congestión durante la construcción cuando existan diferencias apreciables entre las alternativas que se comparan. Por ejemplo, cuando se compara un aumento de capacidad en una ruta existente con alto nivel de tráfico, versus una ruta alternativa nueva. 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.
- Existe incertidumbre en torno a la estimación de costos de inversión, habiendo sido históricamente subvalorados. Las cifras que se indican en la Tabla 9.2.2(1) entregan valores medios obtenidos a partir de proyectos recientemente terminados en el país. Hay partidas que tienen mayor incertidumbre que otras, como son el costo de reposición de servicios y el valor final de las expropiaciones, aspecto que se considera en el análisis de sensibilidad de los indicadores de rentabilidad (ver párrafo 9.4.2.2).

## **9.2.2 DETERMINACION DE COSTOS DE INVERSION**

**9.2.2.1 Casos especiales.** La generalidad de las partidas en obras de construcción tienen un precio de mercado a partir del cual es posible estimar el precio social (ver Tabla 9.2.2- (I)) Hay sin embargo algunas partidas que ya sea por no transarse en el mercado o por sus peculiares características tienen un alcance especial.

**a) Precio social de la reposición de servicios.** Los presupuestos que se solicite a las empresas de servicios correspondientes deberán consignar separadamente los costos que involucran divisas, mano de obra en sus diferentes grados de calificación y costos internos del país. Además deberá ser posible extraer a partir de dichos presupuestos qué partidas corresponden exactamente a reposición de servicios y cuales a inversión en mejoras. A partir de la información anterior será posible estimar el precio social con la metodología tradicional.

**b) Precio social de expropiaciones.** En general se aceptará como válida una estimación del precio social de las expropiaciones a partir del precio de mercado, bajo el supuesto de que este último es un buen asignador del recurso suelo y/o de edificaciones. Sin embargo, debe incluirse en el costo de expropiación todos aquellos costos relativos a los procesos judiciales y negociaciones, con participación tanto de profesionales del sector público como privado. La información básica para la obtención de los precios de mercado de las expropiaciones se obtienen a partir de los acápites 5.1.3 y 6.2.2.

**c) Precio social de área verde y/o áreas de uso público recreacional.** Un proyecto de vialidad urbana puede consumir áreas verdes o de uso público recreacional, así como entregar una mayor disponibilidad para su uso social. A pesar de que el valor del suelo sea sustancialmente diferente entre diferentes sectores de la ciudad se estima adecuado por razones de equidad asignarle un valor social único a nivel de cada área urbana. Dicho valor se deberá estimar localmente de acuerdo a la disponibilidad financiera y al grado de escasez que tenga el recurso. El valor a utilizar en la evaluación deberá ser aportado por la

Comisión de Transporte Urbano a fin de darle uniformidad al proceso de evaluación de proyectos de vialidad urbana.

**9.2.2.2 Partidas de obras, precios privados y sociales.** En la Tabla 9.2.2-(I) se entrega un listado de partidas de costos de inversión en proyectos de vialidad urbana que recoge la experiencia acumulada en el país en el periodo reciente. No es, por lo tanto, necesariamente exhaustiva y su desglose en factores básicos para el cálculo de precios sociales debe considerarse como una aproximación sujeta a modificaciones a la luz de una mayor información o de estudios más acabados.

**TABLA 9.2.2(I)**

**Precios de Mercado (\$ Enero 1988) y Desglose por Insumo**

CODIGO	CAPITULOS, SUBCAPITULOS TIPOS E ITEMS DE OBRA	UD	PRECIO UNIDAD	FACTORES DE DESGLOSE PARA PRECIOS SOCIALES					
				MONC	NOSC	MOC	MN	MEXT	IMP
<b>1.</b>	<b>EXPLANACIONES</b>								
1.1	EXPROPIACIONES								
1.1.1	TERRENOS	m2	0,0000	0,0000	0,0000	0,9960	0,0000	0,0040	
1.1.2	CONSTRUCCIONES	m2	0,0000	0,0000	0,0000	0,9960	0,0000	0,0040	
1.1.3	DEMOLICIONES	m3	0,2190	0,7200	0,0000	0,0110	0,0300	0,0200	
1.2	REPARACION DE LA FAJA								
1.2.1	ROCE, DESP. Y LIMP. DE FAJA	m2	200	0,1190	0,0287	0,0256	0,0924	0,4179	0,3164
1.2.2	EXTRAC. DE ESCOMBROS	m3	500	0,2809	0,0435	0,0265	0,0717	0,3296	0,2478
1.2.3	DEMOL. DE ESTRUCTURAS	m3	12.000	0,0309	0,0190	0,1552	0,0828	0,4307	0,2815
1.2.4	DEMOL. PAV. ASF. Y ADOQUINES	m2	540	0,0730	0,0200	0,0630	0,0410	0,5690	0,2340
1.2.5	DEMOL. DE PAVIMENTOS HORMIGON	m2	720	0,0259	0,0268	0,0462	0,0992	0,4624	0,3396
1.2.6	DEMOLICION DE ACERAS	m2	390	0,5803	0,4169	0,0001	0,0003	0,0014	0,0010
1.2.7	EXTRACC. SOLERAS Y TTE. A BODEG	m1	150	0,2621	0,0725	0,0212	0,0682	0,3328	0,2432
1.2.8	REMOCION DE MAT. INADECUADO	m3	1.200	0,2809	0,0435	0,0285	0,0717	0,3296	0,2478
1.2.9	REMOCION DE ARBOLES	m#	1.000	0,2099	0,7240	0,0021	0,0068	0,0330	0,0242
1.2.10	RETIRO DE SEÑALES	m#	500	0,2623	0,0725	0,0212	0,0682	0,3327	0,2431
1.2.11	REMOCION DE POSTES	m#	3.000	0,2099	0,7240	0,0021	0,0068	0,0330	0,0242
1.2.12	INSTALACION DE FAENAS	GL		0,2190	0,7200	0,0000	0,0110	0,0300	0,0200
1.3	MOVIMIENTO DE TIERRAS								
1.3.1	EXCAVACIONES								
1.3.1.1	EXCAVACION A MAQUINA	m3	1.300	0,0126	0,0306	0,0550	0,0500	0,5852	0,2666
1.3.1.2	EXCAVACION A MANO EN SECO	m3	710	0,6732	0,0862	0,0083	0,0900	0,0957	0,0466
1.3.1.3	EXCAV. DIRECTA CON AGOTAMIENTO	m3	2.500	0,5595	0,0588	0,0037	0,0801	0,2095	0,0884
1.3.1.4	EXCAVACION EN ROCA	m3	2.100	0,1875	0,0281	0,0193	0,1109	0,4506	0,2036
1.3.1.5	EXCAVACION DE ESCARPES	m3	1.100	0,0305	0,0374	0,0440	0,0850	0,4834	0,3197
1.3.2	CONFECCION DE TERRAPLENES	m3	950	0,0069	0,0340	0,0553	0,0916	0,4791	0,3331
1.3.3	RELLENO ZONA DE MEDIANAS	m3	850	0,6732	0,0862	0,0083	0,0900	0,0957	0,0466
1.3.4	PREPARAC. DE SUB- RASANTE	m2	90	0,1308	0,0302	0,0744	0,0834	0,3904	0,2908

MONC = Mano Obra No Calificada  
MN = Moneda Nacional

NOSC = Mano Obra Semi Calificada  
MEXT = Moneda Extranjera

MOC = Mano Obra Calificada  
IMP = Impuestos

**TABLA 9.2.2(I) (Cont.)**

**Precios de Mercado (\$ Enero 1988) y Desglose por Insumo**

CODIGO	CAPITULOS, SUBCAPITULOS TIPOS E ITEMS DE OBRA	UD	PRECIO UNIDAD	FACTORES DE DESGLOSE PARA PRECIOS SOCIALES					
				MONC	MOSC	MOC	MN	NEXT	IMP
2.	<u>FIRMES Y PAVIMENTOS</u>								
2.1	BASES Y SUB-BASES								
2.1.1	SUB-BASE ESTABILIZADA	m3	2.100	0,0226	0,0526	0,0594	0,1654	0,4252	0,2748
2.1.2	SUB-BASE GRANULAR	m3	2.160	0,0226	0,0526	0,0594	0,1654	0,4252	0,2748
2.1.3	BASE ESTABILIZADA	m3	1.850	0,0257	0,0433	0,0377	0,2192	0,4168	0,2573
2.1.4	BASE EST. GRAVA-CEMENTO	m3	4.800	0,0051	0,0096	0,0119	0,4770	0,2434	0,2530
2.1.5	BASE ASFALTICA	m3	16.700	0,0340	0,0340	0,0000	0,1900	0,4930	0,2490
2.2	TRATAMIENTO								
2.2.1	TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE	m2	320	0,0099	0,0184	0,0204	0,1384	0,4964	0,3165
2.2.2	TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE	m2	480	0,0099	0,0184	0,0204	0,1384	0,4964	0,3165
2.3	PAVIMENTOS DE HORMIGON	m3	15.000	0,0018	0,0080	0,0049	0,5283	0,2191	0,2379
2.4	PAVIMENTOS ASFALTICOS								
2.4.1	IMPRIMACION BITUMINOSA	m2	97	0,0065	0,0115	0,0076	0,3037	0,3755	0,2952
2.4.2	RIEGO DE LIGA	m2	65	0,0097	0,0166	0,0016	0,0820	0,5382	0,3519
2.4.3	CONCRETO ASFALTICO	m3	18.500	0,0022	0,0040	0,0065	0,2061	0,3977	0,3035
2.4.4	PAV. ADOCRETO	m2	2.300						
2.5	BERMAS								
2.5.1	BERMA GRANULAR	m2	250	0,0257	0,0433	0,0377	0,2192	0,4168	0,2573
2.5.2	TRAT. SUP. SIMPLE EN BERMAS	m2	300	0,0226	0,0526	0,0594	0,1654	0,4252	0,2748
2.5.3	TRAT. SUP. DOBLE EN BERMAS	m2	450	0,0226	0,0526	0,0594	0,1654	0,4252	0,2748
2.6	ACERAS								
2.6.1	ACERAS DE HORMIGON	m2	1.230	0,0018	0,0080	0,0049	0,5283	0,2191	0,2379
2.6.2	ACER. DE BALD. MICRO-VIBRADA	m2	3.000	0,1956	0,0146	0,0015	0,5487	0,0911	0,1485
2.6.3	ACERA DE ADOCRETO	m2	2.100	0,1956	0,0146	0,0015	0,5487	0,0911	0,1485
2.7	SOLERAS								
2.7.1	SUM. COLOC. SOLERAS TIPO A	m1	1.100	0,1956	0,0146	0,0015	0,5487	0,0911	0,1485
2.7.2	SUM. COLOC. SOLER. REBAJADAS	m1	450	0,1956	0,0146	0,0015	0,5487	0,0911	0,1485
2.8	BANDEJONES E ISLOTES	m2	820	0,0257	0,0433	0,0377	0,2192	0,4168	0,2573

MONC ≡ Mano Obra No Calificada  
MN ≡ Moneda Nacional

MOSC ≡ Mano Obra Semi Calificada  
NEXT ≡ Moneda Extranjera

MOC ≡ Mano Obra Calificada  
IMP ≡ Impuestos

TABLA 9.2.2(I) (Cont.)

Precios de Mercado (\$ Enero 1988) y Desglose por Insumo

CODIGO	CAPITULOS, SUBCAPITULOS TIPOS E ITEMS DE OBRA	UD	PRECIO UNIDAD	FACTORES DE DESGLOSE PARA PRECIOS SOCIALES					
				MONC	MOSC	MOC	MN	MEXT	IMP
<b>3.</b>	<b>SANEAMIENTO Y DRENAJE</b>								
3.1	EXC. PARA DREN MANUAL	m3	860	0,6732	0,0862	0,0083	0,0900	0,0957	0,0466
3.2	EXC. PARA DREN A MAQUINA	m3	1.000	0,0568	0,4550	0,0259	0,0521	0,2329	0,1773
3.3	SUB-DREN MAT. FILTRANTE	m1							
3.4	SUB-DREN LONGITUDINAL	m1	430						
3.5	CAMARAS	Nº	40.000	0,3108	0,1430	0,0024	0,3203	0,1226	0,1009
3.6	SUMIDEROS	Nº	41.400	0,3108	0,1430	0,0024	0,3203	0,1226	0,1009
<b>4.</b>	<b>REPOSICION DE SERVICIOS</b>								
4.1	AGUA POTABLE								
4.1.1	EXCAVACION DE ZANJAS	m3	500	0,6732	0,0862	0,0083	0,0900	0,0957	0,0466
4.1.2	RELLENO DE ZANJAS	m3	350	0,6732	0,0862	0,0083	0,0900	0,0957	0,0466
4.1.3	RETIRO DE EXCEDENTES	m3	200	0,0435	0,0271	0,0670	0,0339	0,5806	0,2479
4.1.4	RETIRO DE CAMERIA EXISTENTE	m1	500	0,0499	0,0490	0,0534	0,0945	0,4290	0,3242
4.1.5	SUM.Y COLOC.DE PRUEBA CAMERIA 0=	m1	12.000	0,0375	0,0013	0,0011	0,7002	0,0651	0,1948
4.1.6	REFUERZO DE CAMERIA 0=	m1	8.000	0,1543	0,0011	0,0049	0,4395	0,1995	0,2007
4.1.7	RETIRO,TRASL.E INTALAC.DE GRIFOS	Nº	18.400	0,0953	0,1726	0,0559	0,1181	0,3350	0,2231
4.1.8	MODIF. DE CAMARA EXISTENTE	Nº	13.000	0,3108	0,1430	0,0024	0,3203	0,1226	0,1009
4.1.9	CAMARAS NUEVAS	Nº	40.000	0,3108	0,1430	0,0024	0,3203	0,1226	0,1009
4.1.10	SUM. Y COLOC. PRUEBA DE PIEZAS ESP. GL								
4.2	AGUAS LLUVIAS Y AGUAS SERVIDAS								
4.2.1	EXCAVACION DE ZANJAS	m2	500	0,6732	0,0862	0,0083	0,0900	0,0957	0,0466
4.2.2	RELLENO DE ZANJAS	m3	350	0,6732	0,0862	0,0083	0,0900	0,0957	0,0466
4.2.3	RETIRO DE EXCEDENTES	m3	200	0,0435	0,0271	0,0670	0,0339	0,5806	0,2479
4.2.4	CAMERIAS Y/O TUBOS 0=	m1	14.000	0,0375	0,0013	0,0011	0,7002	0,0651	0,1948
4.2.5	CAMARAS NUEVAS	Nº	50.000	0,3108	0,1430	0,0024	0,3203	0,1226	0,1009
4.2.6	MODIFICACION DE CAMARAS	Nº	18.000	0,0375	0,0013	0,0011	0,7002	0,0651	0,1948
4.2.7	SUMIDEROS NUEVOS	Nº	35.000	0,1543	0,0011	0,0049	0,4395	0,1995	0,2007
4.3	TELEFONOS Y ELECTRIFIC., GAS								
4.3.1	TRASLADO DE POSTACION ELECTRICA	Nº	250.000						
4.3.2	TRASLADO DE POSTACION TELEFONICA	Nº	200.000						
4.3.3	PRESUPUESTO. MODIF. RED ELECTRICA	GL							
4.3.4	PRESUPUESTO. MODIF. RED TELEFONICA	GL							
4.3.5	PRESUPUESTO DE MODIF. RED DE GAS	GL							

MONC = Mano Obra No Calificada  
MN = Moneda Nacional

MOSC = Mano Obra Semi Calificada  
MEXT = Moneda Extranjera

MOC = Mano Obra Calificada  
IMP = Impuestos

**TABLA 9.2.2(I) (Cont.)**

**Precios de Mercado (\$ Enero 1988) y Desglose por Insumo**

CODIGO	CAPITULOS, SUBCAPITULOS TIPOS E ITEMS DE OBRA	UD	PRECIO UNIDAD	FACTORES DE DESGLOSE PARA PRECIOS SOCIALES					
				MONC	MOSC	MOC	MN	MEXT	IMP
<b>5.</b>	<b><u>ESTRUCTURAS</u></b>								
5.1	MOVIMIENTO DE TIERRAS								
5.1.1	EXCAVACION A MANO	m3	710	0,6732	0,0862	0,0083	0,0900	0,0957	0,0466
5.1.2	EXCAVACION EN SECO	m3	450	0,0126	0,0306	0,0550	0,0500	0,5852	0,2666
5.1.3	EXCAVACION CON AGOTAMIENTO	m3	2.500	0,5595	0,0588	0,0037	0,0801	0,2095	0,0884
5.1.4	RELLENOS COMPACTADOS	m3	850	0,1245	0,0414	0,0693	0,0273	0,5165	0,2210
5.2	INFRAESTRUCTURA								
5.2.1	EMPLANTILLADOS	m3	10.000	0,1543	0,0011	0,0049	0,4395	0,1995	0,2007
5.2.2	RELLENO ESTRUCTURAL	m3	550	0,0953	0,1726	0,0559	0,1181	0,3350	0,2231
5.2.3	HORMIGON (ESPECIFICAR TIPO)	m3	15.000	0,0799	0,0612	0,0035	0,5218	0,1351	0,1985
5.2.4	ACERO (ESPECIFICAR TIPO)	Kg	160	0,0867	0,0346	0,0000	0,4305	0,2241	0,2241
5.2.5	MOLDAJE	m2	900	0,0270	0,1680	0,0050	0,5340	0,0740	0,1920
5.2.6	BARBACANAS	Kg	1.320	0,0867	0,0346	0,0000	0,4305	0,2241	0,2241
5.3	SUPERESTRUCTURA								
5.3.1	HORMIGON (ESPECIFICAR TIPO)	m3	15.000	0,0799	0,0612	0,0035	0,5218	0,1351	0,1985
5.3.2	ACERO	Kg	160	0,0867	0,0346	0,0000	0,4305	0,2241	0,2241
5.3.3	MOLDAJE	m2	900	0,0270	0,1680	0,0050	0,5340	0,0740	0,1920
5.3.4	MOLDAJE CON ALZAPRIMAS	m2	1.300	0,0270	0,1680	0,0050	0,5340	0,0740	0,1920
5.3.5	LOSAS DE APROXIMACION	m3	35.700	0,0799	0,0612	0,0035	0,5218	0,1351	0,1985
5.3.6	ELEMENTOS METALICOS	Kg	190	0,0867	0,0346	0,0000	0,4305	0,2241	0,2241
5.3.7	CANTONERAS	m1	9.860	0,0867	0,0346	0,0000	0,4305	0,2241	0,2241
5.3.8	BARBACANAS	Kg	1.320	0,0867	0,0346	0,0000	0,4305	0,2241	0,2241
5.3.9	BARANDAS	m1	3.000	0,0867	0,0346	0,0000	0,4305	0,2241	0,2241
5.3.10	CARPETA DE RODADO	m2	1.500	0,0022	0,0040	0,0065	0,2861	0,3977	0,3035

MONC = Mano Obra No Calificada  
MN = Moneda Nacional

MOSC = Mano Obra Semi Calificada  
MEXT = Moneda Extranjera

MOC = Mano Obra Calificada  
IMP = Impuestos

TABLA 9.2.2(I) (Cont.)

Precios de Mercado (\$ Enero 1988) y Desglose por Insumo

CODIGO	CAPITULOS, SUBCAPITULOS TIPOS E ITEMS DE OBRA	UD	PRECIO UNIDAD	FACTORES DE DESGLOSE PARA PRECIOS SOCIALES					
				MONC	MOSC	MOC	PN	IMPT	
6.	<u>SENALIZACION CONTROL Y PROTECCION</u>								
6.1	<u>SENALIZACIONES Y DEMARCACIONES</u>								
6.1.1	PROV. Y COLOC. DE SEMALES NUEVAS	Nº	30.000	0,0269	0,0325	0,0016	0,2941	0,4387	0,2062
6.1.2	TRASLADO DE SEMALES	Nº	500	0,0080	0,0201	0,0262	0,1320	0,4927	0,3210
6.1.3	DEMARACIONES	m	120	0,0100	0,0200	0,0300	0,5200	0,2000	0,2200
6.1.4	TACHAS REFLECTANTES	Nº	1.800	0,0100	0,0200	0,0100	0,2000	0,5760	0,1840
6.2	<u>SEMAFORIZACION</u>								
6.2.1	RETIRO DE POSTACION Y CABEZALES	Nº	2.500	0,0080	0,0201	0,0262	0,1320	0,4927	0,3210
6.2.2	TRASLADO DE POSTACION Y CABEZALES	Nº	55.000	0,0080	0,0201	0,0262	0,1320	0,4927	0,3210
6.2.3	CONTROLADOR Y OBRAS ASOCIADAS	Nº	3.000.000	0,0045	0,0066	0,0169	0,3820	0,3607	0,2293
6.2.4	SUMINISTRO Y COLOC. DE POSTACION	Nº	20.000	0,0269	0,0325	0,0016	0,2941	0,4387	0,2062
6.2.5	SUMINISTRO Y COLOC. DE CABEZALES	Nº	45.000	0,0269	0,0325	0,0016	0,2941	0,4387	0,2062
6.2.6	CAMARAS	Nº	13.000	0,3108	0,1430	0,0024	0,3203	0,1226	0,1009
6.2.7	CABLES	m	350	0,0080	0,0201	0,0262	0,132	0,4927	0,3210
6.2.7	CABLES	m	350	0,0080	0,0201	0,0262	0,1320	0,4927	0,3210
6.2.8	DETECTORES	m	150	0,0100	0,0400	0,0200	0,4800	0,1500	0,2800
6.2.9	SUN + M. O. DE O. CIVILES	GL							
6.2.10	PROYECTO TRAMITAC Y DERECHOS	GL							
6.2.11	MONTAJE GENERAL Y VARIOS	GL							
6.2.12	DUCTOS	m	3.000	0,0375	0,0013	0,0011	0,7002	0,0651	0,1948
6.3	<u>DEFENSAS Y PROTECCIONES</u>								
6.3.1	CIERROS	m	3.000	0,4290	0,0297	0,0852	0,1801	0,1860	0,0900
6.3.2	VALLAS PEATONALES	m	4.800	0,1725	0,0658	0,0010	0,2818	0,3109	0,1600
6.3.3	DEFENSAS CAMINERAS	m	7.500	0,1725	0,0658	0,0010	0,2818	0,3109	0,1600
7.	<u>PAISAJISMO</u>								
7.1	CONSTRUCCION DE A. VERDES	m <sup>2</sup>	1.200	0,6732	0,0862	0,0083	0,0900	0,0957	0,0466
7.2	MAICILLO EN CIRCULACIONES	m <sup>2</sup>	250	0,6732	0,0862	0,0083	0,0900	0,0957	0,0466
7.3	SOLERILLAS	m	520	0,1956	0,0146	0,0015	0,5487	0,0911	0,1485
7.4	VEREDONES	m <sup>2</sup>	120	0,6732	0,0862	0,0083	0,0900	0,0957	0,0466
7.4	VEREDONES	m <sup>2</sup>	120	0,6732	0,0862	0,0083	0,0900	0,0957	0,0466
7.5	ADOQUINES	m <sup>2</sup>	2.817	0,6732	0,0862	0,0083	0,0900	0,0957	0,0466
8.	<u>ILUMINACION</u>								
8.	ILUMINACION	m <sup>2</sup>	1.200	0,0269	0,0325	0,0016	0,2941	0,4387	0,2062
9.	<u>VARIOS</u>								
9.1	IMPREVISTOS	GL							
9.2	PROYECTO DE INGENIERIA	GL							
9.3	ASESORIA Y SUPERV. A LA CONSTRUCC.	GL							

MONC = Mano Obra No Calificada  
PN = Moneda Nacional

MOSC = Mano Obra Semi Calificada  
MEXT = Moneda Extranjera

MOC = Mano Obra Calificada  
IMP = Impuestos

## SECCION-9.3: BENEFICIOS ECONOMICOS

### 9.3.1 BENEFICIOS PROVENIENTES DEL TRANSITO

**9.3.1.1 Introducción.** Los beneficios económicos producto del ahorro de recursos asociados al desplazamiento de vehículos se obtienen directamente de los resultados de la simulación de tránsito comparando cada alternativa con la situación de referencia. Los recursos que se consideran son: tiempo de usuarios (viajeros), combustible y otros recursos de operación de vehículos. La estimación del total de beneficios anuales depende del número de horas al año que representa cada uno de los periodos simulados, situación que se trata diferenciadamente según tipo de proyecto. En los párrafos siguientes aparecen expresiones para hacer la estimación. Ellas están adaptadas a los resultados que entrega TRANSYT. En los casos excepcionales en que se usa otro programa hay que emplear métodos equivalentes.

**9.3.1.2 Beneficios de tiempo de viaje.** Derivan de computar los consumos totales de tiempo de los usuarios en cada situación. Para un corte temporal y situación dados, se calculan sobre una base anual agregando las semanas tipo en que se divide el año. Luego, el consumo anual de tiempo en una situación (base o alternativa) y corte temporal determinados, está dado por:

$$CTA = \sum_{n=1}^{NS} \sum_{i=1}^{NP_m} CT_{im} \quad (9.3.1 - 1)$$

donde  $CT_{im}$  es el consumo de tiempo en el periodo  $i$  ( $i = 1, \dots, NP_m$ ) de la semana tipo  $m$  ( $m = 1, \dots, NS$ ) y su expresión para cada tipo es:

$$CT_i = FE_i \sum_{j=1}^{NV} (VT_j \times \sum_{k \in NA_j} q_{ijk} TV_{ik} TO_{ijk}) \quad (9.3.1 - 2)$$

en que:

$FE_i$  = factor de expansión anual del periodo  $i$  [hr/año];

$q_{ijk}$  = flujo de vehículos tipo  $j$  ( $j = 1, \dots, NV$ ) en el arco  $k$  durante el periodo  $i$  [veh/hr]

$TO_{ijk}$  = idem para la tasa de ocupación [pax/veh]

$TV_{ik}$  = tiempo medio de viaje predicho por TRANSYT (agregando si es preciso la demora geométrica) para los vehículos del arco  $k$  en el periodo simulado  $i$ . Resulta de dividir, en la salida del programa, el tiempo total en el arco por su flujo [hrs]

$NA_j$  = conjunto de arcos de la red en que hay vehículos del tipo  $j$

$VT_j$  = precio social del tiempo para los usuarios de vehículos tipo  $j$  (ver acápite 9.3.3) [\$/pax-hr]

El factor de expansión depende del tipo de proyecto. En proyectos sin reasignación de flujos la semana tipo se particiona completamente en periodos que se simulan mientras en proyectos con reasignación hay un conjunto de horas asimiladas a cada periodo simulado ( $HA_i$ ). las expresiones según tipo de proyecto son:

- Sin reasignación:

$$FE_i = NS * NH_i \quad (9.3.1 - 3a)$$

- Con reasignación:

$$FE_i = NS \sum_{p \in HA_i} IR_p \quad (9.3.1 - 3b)$$

Donde:

$NS$  = número de semanas al año de la semana tipo correspondiente

$NH_i$  = número de horas de la semana tipo que comprende el período  $i$

$IR_p$  = factor de proporcionalidad de la hora de la semana  $p$ , asimilada al periodo  $i$   
(ver párrafo 2.3.2.3)

Los beneficios son estimados separadamente para cada corte temporal, cuyo número depende del tipo de proyecto.

9.3.1.3 beneficios de combustible. Los consumos anuales de combustible en cada situación y corte temporal resultan también de la agregación de su valor para cada semana tipo considerada:

$$CCA = \sum_{m=1}^{NS} \sum_{i=1}^{NP_m} CC_{i,m} \quad (9.3.1 - 4)$$

Donde CC denota consumo de combustible y las demás variables han sido definidas en el párrafo anterior. Para computar CC en un período en \$/año:

$$CC_i = FE \sum_{j=1}^{NV} \left( VC_j \cdot \sum_{k \in NA_j} q_{ijk} \left[ L_k \cdot cm_j(v_{ik}) + h_{ik} \cdot cd_j(v_{ik}) + d_{ik} cr_j \right] \right) \quad (9.3.1 - 5)$$

Donde:

$L_k$  = longitud del arco  $k$  [km]

$h_{ik}$  = número de detenciones por vehículo en el arco  $k$  y periodo  $i$

$c_{mj}$  = consumo unitario en movimiento de los vehículos tipo  $j$ , función de la velocidad, [lt/veh-km]

$cd_{ij}$  = consumo en exceso por una detención de un vehículo tipo  $j$ , función de la velocidad [lt]

$VC_{ij}$  = precio social del combustible (ver acápite 9.3.3) [\$/lt]

De TRANSYT pueden obtenerse las variables  $L_k$ ,  $h_{ik}$  y  $d_{ij}$ , (agregando demora geométrica, si procede) y la velocidad  $v_{ik}$ . Los consumos unitarios de cada clase figuran en las Tablas 9.3.1 (1) a (111). Para velocidades no incluidas en las Tablas, se interpela. Si hay en algunos arcos gradientes significativos, hay que incorporar su efecto en el consumo de combustible en movimiento. Designando por  $G$  la pendiente (en %) se hace  $cm = cm + KG$ ; el valor del parámetro  $K$  también depende de la velocidad y figura en la Tabla 9.3.1 (IV). Si la pendiente es negativa, la disminución consiguiente de  $cm$  tiene como límite inferior  $cm = cr$ . Los factores de expansión  $FE_i$  son calculados con las mismas expresiones del párrafo

anterior. También se hace por separado la estimación de beneficios para cada corte temporal.

**TABLA 9.3.1 (I)**  
**CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR DETENCIONES**

VELOCIDAD DE CRUCERO (Km/hr)	VEHICULOS LIVIANOS (1) (ml/det)	BUSES (2) (ml/det)
10	1,42	3,20
20	3,11	7,99
30	5,67	16,93
40	8,87	29,24
50	12,52	44,59
60	16,38	62,45
70	20,09	82,07
80	23,26	102,42
90	25,22	121,67
100	26,82	135,95

Fuente: Estimaciones propias basadas en Bowyer, Akcelik y Biggs (1985)

(1) Incluye automóviles particulares, taxis y camionetas.

(2) Incluye buses, taxibuses y camiones livianos.

**TABLA 9.3.1 (II)**  
**CONSUMO DE COMBUSTIBLE AL RALENTI**  
**(lts/hr)**

VEHICULOS LIVIANOS	BUSES
1,08	2,22

Fuente: Estimaciones propias basadas en Bowyer,  
Akcelik y Biggs (1985)

**TABLA 9.3.1 (III)**

**CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN MOVIMIENTO**

VELOCIDAD DE CRUCERO (km/hr)	VEHICULOS LIVIANOS (1) (ml/km)	BUSES (2) (ml/km)
10	160,0	443,7
20	105,3	326,8
30	83,7	268,1
40	74,9	242,6
50	72,8	231,9
60	72,8	229,8
70	76,0	233,8
80	81,3	242,2
90	88,2	255,3
100	97,9	274,4

Fuente: Estimaciones propias basadas en Bowyer, Akcelik y Biggs (1985)

(3) Incluye automóviles particulares, taxis y camionetas.

(4) Incluye buses, taxibuses y camiones livianos.

**TABLA 9.3.1 (IV)**

**COEFICIENTES DE CORRECCION POR GRADIENTE**

VELOCIDAD DE CRUCERO (km/hr)	VEHICULOS LIVIANOS		BUSES	
	K (G > 0)	K (G < 0)	K (G > 0)	K (G < 0)
10	9,01	4,82	40,97	21,90
20	9,07	5,18	41,21	23,57
30	9,12	5,55	41,44	25,23
40	9,17	5,92	41,68	26,90
50	9,22	6,29	41,92	28,57
60	9,27	6,65	42,16	30,24
70	9,33	7,02	42,40	31,91
80	9,38	7,39	42,64	33,58
90	9,42	7,67	42,82	34,87

100	9,42	7,67	42,82	34,87
-----	------	------	-------	-------

Fuente: Estimaciones propias basadas en Bowyer, Akcelik y Biggs (1985)

**9.3.1.4 Beneficios por otros costos de operación.** Se consideran como otros costos de operación de vehículos los ahorros en los siguientes recursos: lubricantes, neumáticos, mantención y depreciación. Todos ellos se entenderán dependientes de la distancia recorrida, por lo cual, en el caso de proyectos que no lleven asociados cambios en ella, no corresponde estimar este tipo de impacto. En la Tabla 9.3.1 (V) se entrega una estimación del valor del consumo unitario de estos recursos. TRANSYT entrega una estimación de la distancia viajada en la red para cada tipo de vehículo (arcos de buses y tráfico general) con la que se puede obtener el consumo total anual para cada situación y corte temporal. Excepcionalmente, si se producen ahorros significativos en tiempos de viaje que signifiquen menores tiempos en el ciclo de operación de vehículos comerciales (taxis colectivos, buses y taxibuses especialmente) puede estimarse un ahorro de parque, evitándose un doble conteo con ahorros por depreciación. De producirse esta última situación es también posible agregar un ahorro por concepto de interés relativo al costo de oportunidad del capital del parque vehicular ahorrado.

**TABLA 9.3.1 (V)**  
**OTROS COSTOS DE OPERACION DE VEHICULOS**  
**(Precios sociales, en \$/km, Mayo 1988)**

ITEM	VEHICULOS LIVIANOS	BUSES
Repuestos	3,455	5,658
Lubricantes	0,285,	1,466
Neumáticos	1,590	4,783
Mano de obras	1,840	4,336
Depreciación	8,780	8,000
TOTAL	15,950	24,242

Fuente: M. Orrego. Metodología de Evaluación de Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano, Tesis de Grado Ing. Civil, U. de Chile.

Todos los ítems, con excepción de la mano de obra, corresponden a bienes transables para los que puede asumirse que sus componentes importadas y proporción nacional variarán en función del precio social de la divisa. La mano de obra de mantención, deberá variar con relación al Índice General de Sueldos y Salarios (IGSS), para fines de actualizar los valores de la Tabla.

## 9.3.2 OTROS BENEFICIOS ECONOMICOS

**9.3.2.1 Definición.** Se entiende por otros beneficios económicos a aquellos beneficios que siendo cuantificables económicamente no se obtienen directamente de los resultados de la simulación de tránsito. Por lo tanto deben ser agregados en el período y año en que se produzcan. La inclusión de otros beneficios económicos dependerá de las características de cada proyecto, pudiendo omitirse o agregarse otros a los que se sugiere en los párrafos siguientes. Esto se definirá al seleccionar las alternativas (ver Sección 4.2)-

**9.3.2.2 Ahorros de tiempo de viaje de peatones y/o bicicletas.** Como consecuencia de un proyecto de vialidad urbana puede afectarse el tiempo de viaje de los peatones y/o bicicletas, ya sea por diferencias en la distancia recorrida o simplemente por diferencia en las demoras en el cruce de flujos vehiculares. Si se agrega a los casos anteriores una presencia importante de peatones y/o bicicletas se recomienda cuantificar económicamente su impacto. En el párrafo 8.2.3.6 se señalan formas de modelación, en tanto la valoración social de estos impactos se presenta en el párrafo 9.3.3.2.

**9.3.2.3 Valor residual.** El valor residual corresponde al costo de oportunidad 0 mejor uso alternativo del remanente de las obras atingentes al proyecto al final de su vida Útil económica. Esto significa, en un plano teórico, estimar los beneficios futuros posteriores al año de término de vida útil, actualizados a dicho año, provenientes del mejor proyecto que utilice parcial o totalmente la infraestructura remanente. La cota inferior del valor residual es la siguiente:

$$VR_i = VAN_{0+} (I_0 - I_i)$$

en que:

$VR_i$  = valor residual a agregar a los beneficios en el año i (año de término de vida útil, normalmente año 20)

$VAN_0$  = valor actualizado neto del proyecto al año 0

$I_0$  = inversión año 0

$I_i$ = inversión marginal al año  $i$ , necesaria para repetir el mismo proyecto. En general, una parte de  $I_0$  (expropiaciones, movimiento de tierras, cambios de servicios, etc.) se conserva al año 20 de proyecto.

Si se supone crecimientos moderados del tránsito y de los beneficios ligados a éste, el valor real del valor residual deberá estar entre 1.5 y 2.0 veces el señalado en la expresión 9.3.2-1.

### **9.3.3 PRECIO SOCIAL DE LOS RECURSOS**

**9.3.3.1 Introducción.** En este acápite se aborda el problema de los precios sociales de los recursos relacionados con el consumo de combustible y tiempo de usuarios del sistema de transporte, incluyendo entre estos últimos a peatones y usuarios de bicicletas. Los precios sociales deben reflejar el grado de escasez de los recursos para la economía o su costo de oportunidad social. Se sugiere una metodología de valoración entregándose una estimación a la fecha, junto con una recomendación metodológica de actualización. La vigencia del método depende de la mantención de determinados supuestos básicos que se explicitan en cada caso. Por otra parte, se podrá hacer una estimación diferenciada por región del país.

**9.3.3.2 Precio social del tiempo de usuarios.** Los ahorros de tiempo constituyen un elemento clave en la evaluación socio- económica de proyectos de transporte. Para valorarlos se considerarán dos grandes categorías:

- tiempo de trabajo, que se refiere sólo a viajes realizados como parte de la actividad laboral de las personas, y
- tiempo normal, que considera todos los otros propósitos de viaje, incluyendo el viaje al trabajo.

A continuación se presentan recomendaciones para el cálculo de cada uno.

**a) Precio social del tiempo de trabajo.** Se considera que éste es igual al ingreso bruto del viajero incluyendo cualquier costo adicional al empleador; sin embargo, se recomienda un valor único, igual al sueldo promedio en el país de un empleado adulto a jornada completa, por las siguientes razones prácticas:

- permite consistencia entre evaluaciones
- es equitativo entre individuos, regiones y modos de transporte
- es más simple de aplicar.

**b) Precio social del tiempo normal.** Se recomienda un valor equitativo único para todos los propósitos de viaje, medios motorizados, regiones e individuos, igual al 43% del sueldo promedio de un empleado adulto a jornada completa.

**c) Variaciones del Precio social del tiempo.** Como existe evidencia de que la valoración de ahorros de tiempo es distinta para jubilados, empleados adultos, otros adultos y escolares, el precio social estándar recomendado en el inciso (b), considera la composición promedio de estas categorías en el país. La Tabla 9.3.3 (1) entrega valores separados para estos grupos, a fin de que sea posible estimar valores apropiados para situaciones en las cuales esta composición sea considerada drásticamente distinta del promedio nacional.

También existe evidencia de que la valoración de las distintas componentes del tiempo de viaje es diferente. Por esto se dispone de información sobre esas componentes, se recomienda valorar el tiempo de espera en 2 veces el tiempo de viaje en el vehículo; el tiempo de caminata, ya sea de acceso a otro medio o como tiempo total de viaje, se debe valorar en 1,5 veces el tiempo de viaje en el vehículo; este último valor también debe ser aplicado a viajes en bicicletas.

**TABLA 9.3.3 (1)**  
**VALOR DEL TIEMPO NORMAL**  
**(Como % del salario promedio de un adulto)**

Categoría	%
Empleado adulto	50,0
Otros adultos	48,5
Jubilados	33,5
Escolares (menores de 18 años)	12,5

Fuente: Values of Journes Time Savings and Accident Prevention, Department of Transport, UK, Marzo 1987.

**d) Actualización de los valores.** Los precios recomendados en el inciso (f) a continuación, se deben mantener en concordancia con el crecimiento real del sueldo promedio de los trabajadores; vale decir, se deben reajustar de acuerdo al Índice de Sueldos y Salarios.

**e) Predicción de valores a futuro.** Estas se deben hacer de acuerdo a la predicción de cifras para el Producto Doméstico per cápita del país.

**f) Valor recomendado al 1° de Junio de 1988.** Considerando los criterios anteriormente señalados se ha estimado como valor único del tiempo de viaje para evaluación de proyectos de vialidad urbana 107.45 \$/hr por pasajero.

**9.3.3.3 Precio social del combustible.** El precio social del combustible se estima a partir del precio social de los recursos involucrados en las diferentes etapas hasta alcanzar al consumidor final. Considerando su utilización en evaluación de proyectos, donde el efecto se traduce en una variación marginal del consumo a nivel nacional, el precio social base a considerar corresponde al precio de combustible importado (valor CIF) al cual se debe agregar los recursos internos en comercialización y distribución. Las diferencias que se puede observar a nivel interno del país se deben fundamentalmente a diferencias en estos últimos. El precio de mercado del combustible (gasolina 81, 93 y petróleo diesel) en cualquier punto del país se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$PM_i = (PCIF_i + AI - PCIF_i + GVM_i + CD_i + CS_i) (1 + IVA) + IE_i \quad (9.3.3 - 1)$$

en que:

$PM_i =$  Precio mercado combustible tipo  $i$  (\$/m<sup>3</sup>)

$PCIF_i =$  Precio CIF de referencia obtenido a partir de  $i$  precio base fijado por la ENAP, combustible tipo  $i$  (\$/m<sup>3</sup>)

$AI =$  Arancel de importación, igual a 0.15 (Abril 88) en todo el país con excepción de Zona Franca Iquique en que se aplica un impuesto único del 9%

$GVM_i =$  Gastos varios de internación y mermas, que se estima en 4% del PCIF

$CD_i =$  Costo de empresas distribuidores ( $\$/m^3$ )

$CS_i =$  Costo de servicentros ( $\$/m^3$ )

$IVA =$  Impuesto al valor agregado

$IE_i =$  Impuesto específico para combustibles tipo  $i$  ( $\$/m^3$ )

El impuesto específico para la gasolina 93 y 81 ( $i = 1, 2$ ) y petróleo diesel ( $i = 3$ ) se calcula de la siguiente manera (Abril, 88) con excepción de la Zona Franca de Iquique en que se aplica un impuesto único del 9%:

$$IE_i = 3 \text{ UTM}/m^3 + \beta_i \quad I = 1, 2 \quad (9.3.3 - 2)$$

$$\begin{aligned} \text{Si } 233\text{TCO} > \text{PBG}_i & \quad \beta_i = \alpha_1 \cdot (233\text{TCO} - \text{PBG}_i) \\ 233\text{TCO} < \text{PBG}_i & \quad \beta_i = 0 \end{aligned} \quad (9.3.3 - 3)$$

$$I.E_3 = 1,5 \text{ UTM}/m^3 + \delta \quad (9.3.3 - 4)$$

$$\begin{aligned} \text{Si } 196\text{TCO} > \text{PBD} & \quad \delta = \alpha_2 \cdot (196\text{TCO} - \text{PBD}) \\ 196\text{TCO} < \text{PBD} & \quad \delta = 0 \end{aligned} \quad (9.3.3 - 5)$$

en que:

$\text{TCO} =$  Tasa de Cambio Oficial ( $\$/\text{US}\$$ )

$\text{PBG}_i =$  Precio base de venta ENAP gasolina tipo  $i$  (no incluye IE e IVA), puesto en refinarla de Concón a mayorista, en  $\$/m^3$ .

$\text{PBD} =$  Id. al anterior, referido al petróleo diesel.

$\alpha_1 =$  0.0 y  $\alpha_2 = 0.15$ , a partir de Julio de 1988.

Para determinar los precios sociales, es necesario estimar los porcentajes en moneda extranjera y moneda nacional para las diferentes componentes, además de eliminar todas las transferencias involucradas. Suponiendo un 40% de moneda nacional y 60% de moneda

extranjera en los costos internos y que las transferencias corresponden sólo a los impuestos directos (AI, IE e IVA) el precio social para cada tipo de combustibles se puede estimar con la siguiente expresión:

$$PS_i = 0.4(CD_i + CS_i) + FSD[PCIF_i + GVM_i + 0,6(CD_i + CS_i)] \quad (9.3.3 - 6)$$

en que:

$PS_i$  = Precio Social combustible tipo i (\$/-rn')

FSD = Factor Social de la divisa, fijado por ODEPLAN.

En la Tabla 9.3.3 (II) se entrega una muestra de precios sociales de los diferentes tipos de combustible en cuatro ciudades del país.

La actualización del precio social de  $i$  combustible debe realizarse contando con la información de precios base de ENAP, del impuesto específico a aplicar y del precio social de la divisa, pudiendo ser obtenidos a través de la Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Transporte Urbano (SECTU). Una estimación más precisa requiere conocer los precios de mercado a fin de derivar los costos internos de comercialización y distribución.

Para estimar el precio social del combustible por tipo de vehículo se requiere conocer el uso porcentual del parque vehicular de cada tipo de combustible. Cifras recientes manejan la siguiente información:

- Vehículos livianos: 90% Gas 93, 10% Gas 81 (Comisión Nacional de Energía, 1988).
- Buses Región Metropolitana: 1% Gas 93, 99% Petróleo Diesel  $i$ ,
- Taxibuses Región Metropolitana: 4% Gas 93, 96% Petróleo Diesel  $i$  (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 1986).

**TABLA 9.3.3 (II)**  
**PRECIOS SOCIALES COMBUSTIBLE**

**(\$/lt, Febrero 1988)**

CIUDAD	GAS 93	GAS 81	DIESEL
Iquique	45,91	44,28	51,05
Santiago	44,53	42,07	47,60
Temuco	51,78	47,45	53,12
P. Arenas	52,47	39,54	46,22

Fuente: Estimaciones propias basadas en información entregada por una empresa distribuidora.

**TABLA 9.3.3 (III)**  
**PRECIO SOCIAL COMBUSTIBLE POR TIPO DE VEHICULO**  
**(\$/lt, Febrero 1988)**

VEHICULO TIPO	PRECIO SOCIAL
Vehículos livianos	44,28
Buses (1)	47,54
Taxibuses (1)	47,38

Fuente: Estimaciones propias

(1) Válido para la Región Metropolitana

## SECCION 9.4: ANALISIS COSTO-BENEFICIO DE CORTO PLAZO

### 9.4.1 CRITERIOS DE RENTABILIDAD DE CORTO PLAZO

**9.4.1.1 Introducción.** Los indicadores de rentabilidad de corto plazo a utilizar corresponden a la Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) o Tasa de Retorno del Primer Año y al Valor Actualizado Neto del Primer Año (VAN1), ambos definidos en 9.1.5.2. Su actualización es distinta según se trate de proyectos de gestión o de infraestructura.

**9.4.1.2 Proyectos de gestión.** En este tipo de proyectos, salvo algunos de carácter estructural, la decisión se toma considerando sólo los criterios de rentabilidad de corto plazo. Los montos de inversión involucrados serán normalmente bajos, con plazos de implementación breves y corta vida útil. La necesidad de realizar la evaluación en estos casos aparece más relacionada con la magnitud de los impactos que provoca el proyecto de gestión. Debido a que los flujos vehiculares de modelación corresponden al año 3 (ver Sección 2.4) será necesario actualizar los beneficios de cada alternativa al primer año de funcionamiento utilizando la tasa de actualización social, con el fin de calcular los indicadores de rentabilidad de corto plazo.

**10.4.1.3 Proyectos de Infraestructura.** En este tipo de proyectos la decisión debe considerar tanto los indicadores de corto como de largo plazo. La modelación se realiza para el primer año de funcionamiento de cada alternativa por lo cual se estiman directamente sus beneficios del primer año. Los costos de inversión deben actualizarse al último año de construcción (un año antes del primero de funcionamiento), cuando ésta requiere un período superior a un año. Si las alternativas en comparación consideran distinto número de años de construcción debe estimarse el VANI al mismo año de actualización en todas ellas.

## 9.4.2 ANALISIS DE SENSIBILIDAD

**9.4.2.1 Conceptos generales.** A través de este análisis se intenta medir el nivel de sensibilidad en la estimación de los indicadores de rentabilidad frente al comportamiento de determinadas variables de relevancia. En la selección de una variable a sensibilizar, debe considerarse dos aspectos básicos:

- que tenga un impacto significativo en la estimación de los costos de inversión de beneficios económicos, y
- que presente un nivel de incertidumbre apreciable en su estimación actual o futura.

Se deberá definir para cada caso un rango probable de variación con relación al valor medio estimado, sensibilizando individualmente el impacto causado sobre los indicadores de rentabilidad.

**9.4.2.2 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 corto plazo frente a las siguientes variables y respectivos rangos de variación:

<b>Variable</b>	<b>Rango</b>
Costo global de la inversión	±20%
Valor de las expropiaciones	±25%
Beneficios de tiempo de viaje:	
- usuarios locomoción colectiva	-70%; +20%
- otros usuarios	±20%
Beneficios por otros costos de operación	±20%

La introducción de una fuerte reducción de los beneficios de tiempo de viaje de los usuarios de locomoción colectiva responde a que los métodos de modelación existentes tienden a sobreestimarlos. Estos errores, inevitables en tanto no sean incorporadas nuevas recomendaciones al respecto, pueden tener gran trascendencia en la decisión por la alta

proporción de ese tipo de usuarios. En proyectos en que se haya hecho un esfuerzo especial en el tratamiento de los buses la incertidumbre será menor y el rango debe ser reducido.

### **9.4.3 ANALISIS DE GRUPOS**

**9.4.3.1 Conceptos generales.** El análisis de grupos constituye un antecedente complementario al de la evaluación de beneficios y costos económicos, que podrá influir en la decisión entre alternativas en la medida que se haya planteado objetivos de favorecer determinados grupos preferentes. La información disponible para este análisis está constituida por los beneficios desagregados según tipo de vehículo y de usuario estimados como ahorros de recursos valorados socialmente. Salvo que se plantee expresamente una metodología diferente (por ejemplo, valorar los recursos a precios privados) el análisis de grupos para este tipo de proyectos debe circunscribirse a la utilización de información disponible de las etapas previas del estudio.

**9.4.3.2 Grupos y recursos a considerar.** Los grupos que es posible detectar como principales afectados por un proyecto de inversión en vialidad urbana y el tipo de impactos relacionados son:

- Gobierno costo de inversión, recaudación de impuestos.
- Empresas constructoras: utilidades de la construcción de las obras.
- Mano de obra empleada en la construcción: sueldos y salarios.
- Pasajeros de locomoción colectiva- tiempo de viaje, tarifas.
- Operadores de locomoción colectiva: costos de operación.
- Usuarios de automóviles: tiempo de viaje, costos de operación.
- Usuarios y operadores de otros vehículos, tiempos de viaje y costos de operación.
- Peatones: tiempo de viaje, distancia de caminata.

## SECCION 9.5: ANALISIS COSTO-BENEFICIO DE LARGO PLAZO

### 9.5.1 CRITERIOS DE RENTABILIDAD DE LARGO PLAZO

**9.5.1.1 Introducción.** Los indicadores de rentabilidad de largo plazo a utilizar corresponden a la Taza Interna de Retorno (TIR), al Valor Actualizado Neto (VAN) y a la relación Beneficio-Costo (B/C). Para su estimación se requiere contar con costos y beneficios anuales durante la vida útil económica de la alternativa en estudio. La metodología de proyección de beneficios anuales normalmente a 20 años, difiere según se trate de proyectos no estructurales de infraestructura sin o con reasignación o de proyectos y estructurales.

**9.5.1.2 Cálculo de indicadores.** Teniendo los costos de inversión y beneficios anuales durante la vida útil de una alternativa los indicadores se calculan con el siguiente procedimiento.

**a) Tasa Interna de Retorno.** Corresponde a aquel valor de la tasa de actualización social que hace cero el VAN. Analíticamente,

$$VAN = 0 = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{(1 + TIR)^i} \quad (9.5.1 -1)$$

donde

$I_0$  = valor social de la inversión actualizado al año anterior al de puesta en funcionamiento de la alternativa

$b_i$  = beneficio social neto en el año  $i$  del proyecto. Si  $i = n$  (último año de vida útil económica) debe agregarse a  $b_i$  el valor residual.

TIR = Tasa Interna de Retorno.

**b) Valor Actualizado Neto.** Está dado por:

$$VAN = I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{(1+a)^i} \quad (9.5.1 -2)$$

Donde:

a = tasa de actualización social

**c) Relación Beneficia-Costo.** Para la obtención de este indicador se define como costo el total de la inversión, intentando de esta manera reflejar la rentabilidad del proyecto por unidad invertida.

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{b_i}{(1+a)^i}}{I_0} \quad (9.5.1 -3)$$

## 9.5.2 PROYECCION DE BENEFICIOS

**9.5.2.1 Proyectos de infraestructura sin reasignación.** La proyección de beneficios en este tipo de proyectos para cada alternativa se lleva a cabo con el procedimiento que se expone a continuación.

- Determinación de beneficios económicos provenientes del tránsito (ver 9.3.1) en el primer año, para una hora de cada periodo  $i$ ,  $B_i^{\alpha_1}$  (\$/hr-año).
- Estimación del flujo vehicular total que accede al área modelada por periodo,  $F_i^{\alpha_1}$  (veq/hr), dado por:

$$F_i^{\alpha_1} = \sum_{k=1}^K F_{ik}^{\alpha_1} \quad (9.5.2 - 1)$$

en que:

$F_{ik}^{\alpha_1}$  = Flujo vehicular en arco de acceso  $k$ , período  $i$ , alternativa  $\alpha$ , (veq/hr), que se obtiene de matriz O-D estimada para el primer año.

$K$  = Número de arcos de acceso.

Salvo casos excepcionales los arcos de acceso deben ser los mismos para todas las alternativas en comparación.

- Construcción de una curva  $B_i^{\alpha_1}$  vs  $F_i^{\alpha_1}$  para cada alternativa.
- Estimación de una tasa de crecimiento de tránsito media ponderada ( $t$ )
- Determinación del año de saturación de cada acceso ( $\alpha_k$ ) Si  $X_k^{\alpha_1}$  es el grado de saturación, en porcentaje, del acceso  $k$  en el primer año (igual para todas las alternativas) entonces:

$$(1+t)^{\alpha_k} = \frac{100}{X_k^{\alpha_1}}$$

de donde

$$\alpha_k = \frac{\ln\left(\frac{100}{X_k^{\alpha_1}}\right)}{\ln(1+t)} \quad (9.5.2 - 2)$$

- Proyección del flujo  $F_{ik}^{\alpha_j}$  para los años siguientes de funcionamiento del proyecto, tal que:

$$F_{ik}^{\alpha_j} = \begin{cases} F_{ik}^{\alpha_1} (1+t)^j, & \text{si } j \leq \alpha_k \\ F_{ik}^{\alpha_1} (1+t)^{\alpha_k}, & \text{si } j > \alpha_k \end{cases} \quad (9.5.2 -3)$$

en que  $j = 2 \dots n$  con  $n$ , número de años de vida útil del proyecto.

- Estimación del flujo total que accede al área modelada en los años de proyección para el período  $i$ , a partir de:

$$F_i^{\alpha_j} = \sum_{k=1}^K F_{ik}^{\alpha_j} \quad (9.5.2 -4)$$

- Obtención de los beneficios futuros por año y periodo, utilizando la curva beneficios vs flujos  $B_i^{\alpha_1}$  vs  $F_i^{\alpha_1}$  estimada anteriormente, y estimación de beneficios totales anuales.

**9.5.2.2 Proyectos no estructurales de infraestructura con reasignación.** En este caso se cuenta con resultados de la simulación en tres periodos para cada alternativa, para el primer año de funcionamiento y para un año intermedio del periodo de evaluación (normalmente el año 10). De esta manera, es posible obtener los beneficios totales anuales para ambos años. El procedimiento sugerido se apoya en estimar los beneficios anuales para los otros años interpolando y extrapolando linealmente las cifras a partir de dichos valores.

**9.5.2.3 Proyectos estructurales.** En este tipo de proyectos se cuenta con una estimación de los beneficios en tres años (primer año, año intermedio y último año del periodo de evaluación). De esta manera, los beneficios para el resto de los años se podrán obtener a partir de una interpolación directa.

### **9.5.3 OTROS ANALISIS**

**9.5.3.1 Análisis de sensibilidad.** Los conceptos generales del análisis de sensibilidad a aplicar a los resultados de la evaluación a largo plazo son equivalentes a los de la evaluación a corto plazo (ver párrafo 9.4.2.1) agregándose algunas variables a sensibilizar.

**a) Proyectos de infraestructura sin reasignación**

- Tasa de crecimiento de los beneficios:  $\pm 30\%$ .

**b) Proyectos de infraestructura con reasignación**

- Tasa de crecimiento de los beneficios anuales en la segunda mitad del periodo devaluación:  $\pm 30\%$ .

**9.5.3.2 Análisis de grupos.** Tanto los conceptos generales como los grupos y recursos a considerar serán los mismos para la evaluación de corto y largo plazo, siendo válido por lo tanto en este caso el contenido del acápite 9.4.3.

## **SECCION 9.6: ANALISIS DE CONSISTENCIA DE PLANES ESTRATEGICOS**

### **9.6.1 GENERALIDADES**

**9.6.1.1 El proceso de decisión para proyectos estructurales.** La evaluación de un proyecto estructural se da en dos niveles diferentes. En el estratégico, la opción de proyecto es evaluada, como parte de un plan, conjuntamente con otras opciones de proyectos coherentes. En este nivel se determina la rentabilidad de dicho plan. Antes de que el plan sea implementado, cada una de las opciones de proyecto que lo componen deben pasar por una segunda etapa de evaluación: análisis táctico. En ella, la opción de proyecto se materializa en una serie de alternativas de proyecto (anteproyectos físicos). Partiendo de matrices de viaje (por período, para cada corte temporal) obtenidas de las matrices resultantes del nivel estratégico, se evalúa el impacto diferencial de cada alternativa respecto a una de ellas considerada base, bajo el supuesto que la distribución de viajes en el sistema y la partición modal corresponden a las que existirían al implementar el plan completo. Por cierto, el análisis táctico no tiene como objetivo dar una estimación de la rentabilidad del proyecto analizado sino que busca dar una lista priorizada de alternativas, para un proyecto que ha sido evaluado en el nivel estratégico como parte de un plan que resultó rentable. Es necesario, entonces, realizar un análisis para probar la consistencia (compatibilidad) entre los resultados obtenidos en los dos niveles del proceso de evaluación descrito.

**9.6.1.2 Definición y objetivo del análisis de consistencia.** En rigor, el análisis de consistencia de los resultados obtenidos en los niveles estratégico y táctico de evaluación debe referirse a los costos y a los beneficios del proyecto en estudio. La comparación de costos es relativamente simple y los únicos problemas que pueden presentarse están relacionados al distinto nivel de detalle con que son tratadas la opción de proyecto en el nivel estratégico, y las alternativas en el nivel táctico. No es posible, sin embargo, analizar la consistencia de los beneficios, puesto que los obtenidos en el nivel estratégico son los del plan completo y los provenientes del análisis táctico son sólo beneficios diferenciales entre

alternativas. Debido a esto, se realiza una comparación de niveles de servicio para un conjunto relevante de movimientos origen destino. Se supone que si estos, considerados sobre redes diferentes, resultan consistentes, los beneficios involucrados también lo serán. La finalidad del análisis de consistencia de costos y niveles de servicio es entregar la información mínima necesaria para la toma de decisión respecto del proyecto estudiado. Si de este análisis surgen alternativas de proyecto consistentes con la opción evaluada en el plan estratégico se puede asociar a ellas la rentabilidad del plan. Por otro lado, si no existen alternativas consistentes con la opción evaluada el plan debería ser reconsiderado y eventualmente reevaluado a la luz de la nueva información entregada por el estudio de nivel táctico.

**9.6.1.3 Alcance del análisis de consistencia en el nivel táctico.** Las tareas que se desprenden del análisis de consistencia pueden exceder los límites de lo que es razonable realizar en el estudio de nivel táctico. En los casos en que las comparaciones de costos y niveles de servicio de los estudios táctico y estratégico muestren que no existe consistencia, el proyecto debe volver al nivel estratégico. Allí el plan deberá ser redefinido (incluidos los costos de proyectos no considerados en el análisis táctico) y luego reevaluado. La redefinición del plan debe considerar al menos las reestimaciones del costo del plan (a partir de los costos desagregados de los anteproyectos del nivel táctico) y la corrección de parámetros en las funciones velocidad-flujo. Obviamente no corresponde realizar esta labor en el estudio táctico. En él, el análisis de consistencia debe limitarse a entregar la información de costos y niveles de servicio al nivel de detalle requerido para tomar una decisión respecto a la compatibilidad de los resultados y a la necesidad de reevaluar el plan.

## **9.6.2 ANALISIS DE CONSISTENCIA DE COSTOS DE INVERSION**

**9.6.2.1 Aspectos generales.** Los costos de inversión asociados a una alternativa de proyecto, en el nivel táctico, pueden resultar significativamente diferentes a aquellos determinados en el nivel estratégico para la respectiva opción de proyecto. Esto puede deberse, por un lado, a que el nivel de detalle de los estudios en ambos niveles es distinto y por otro, a que el lapso de tiempo entre los estudios puede ser tal que el vector de precios (en pesos de igual valor) asociado a los distintos ítems de una obra experimente cambios importantes. En rigor entonces, la diferencia de costos totales puede deberse a una combinación de discrepancias entre las magnitudes físicas de obra y de sus precios. Dado que es el estudio de nivel táctico el de mayor detalle se considerará sus costos y magnitudes físicas de las obras como base de comparación. Las discrepancias detectadas, si son importantes, implicarán reestimaciones de costos en el nivel estratégico.

**9.6.2.2 Consistencia de costos para el proyecto estudiado.** Este análisis requiere una comparación desagregada de costos de obra. Se sugiere como nivel de desagregación a utilizar el correspondiente a los ítems establecidos en la Tabla 9.2.2 (I). En el caso que en el estudio estratégico no se cuente con ese nivel de detalle se deberá trabajar a nivel de los capítulos (agregaciones de ítems) señalados en la misma Tabla. Si para cada uno de los ítems (o capítulos) las diferencias resultan no significativas (por ejemplo hasta un 20% de aumento si el análisis de sensibilidad de la evaluación indica que con un 20% de incremento en los costos el plan continúa siendo rentable) se acepta que los costos totales son consistentes. En caso contrario, aún cuando a nivel global las diferencias fueran no significativas, es necesario extender el análisis a nivel del plan en su conjunto. Esto porque al existir distintas importancias relativas de los ítems (o capítulos) considerados para proyectos diferentes, puede suceder que aumentos importantes en el costo de un ítem (O capítulo) que no se traduce en aumentos superiores al límite aceptable para un proyecto dado, puede implicar lo contrario en un proyecto en que dicho ítem (o capítulo) representa un mayor porcentaje del costo total de la obra.

**9.6.2.3 Reestimación del costo total del plan.** Dado que, en general, no varían en forma homogénea los costos a nivel desagregado y dado que no todos los proyectos presentan igual composición de obras (en porcentaje del costo total por ítem o capítulo), la información obtenida a nivel de análisis del proyecto individual debe ser utilizada para corregir o reestimar los costos del plan en su conjunto. Resulta claro que no basta con introducir solamente las correcciones debidas al proyecto estudiado. Por un lado, la corrección debida a un aumento (incluso muy alto) en el costo de un proyecto podría no tener importancia a nivel del costo del plan completo. Por otro lado, lo que verdaderamente interesa en este caso es afinar el costo total del plan para juzgar la contabilidad de la evaluación realizada en el estudio estratégico.

### **9.6.3 ANALISIS DE CONSISTENCIA DE NIVELES DE SERVICIO**

**9.6.3.1 Supuestos del análisis.** En rigor el análisis de consistencia debería comparar los beneficios obtenidos en los estudios de nivel estratégico y táctico. Sin embargo, por las razones expuestas en el párrafo 9.6.1.2 esto no es posible. El reemplazo de dicho análisis por una comparación de niveles de servicio en el área de influencia del proyecto analizado se basa en los supuestos que siguen. En primer lugar se supone que si los niveles de servicio, de ambos casos, en el área de influencia son similares, también deberían serlo en el resto de la red estratégica. Debe recordarse que en el análisis táctico el área de influencia es codificada en mucho mayor detalle que la red estratégica y que en cambio al exterior de ella la codificación es bastante más simplificada. El segundo supuesto del análisis es que si los niveles de servicio resultan consistentes, también lo serán los beneficios. Dicho de otra forma, si los niveles de servicio son similares, no hay razones para dudar de la similitud de los beneficios.

**9.6.3.2 Nivel de comparación.** Para poder comparar niveles de servicio producidos en redes de distinto nivel de detalle, en un área determinada, es necesario, en primer lugar, seleccionar un número importante de arcos pertenecientes al área de referencia de la red táctica que tengan su contrapartida en la estratégica. Una vez hecho esto se deberá elegir una serie de rutas, preferentemente largas, que usen arcos de los seleccionados y que unen pares de zonas internas al área de referencia o cercanos a sus límites. Por agregación de arcos, o partes de arcos, de la red estratégica debe obtenerse un conjunto de rutas similares a las anteriores. Ambos conjuntos de rutas constituirán la base del análisis de consistencia de niveles de servicio.

**9.6.3.3 Procedimiento de comparación.** Dado el carácter de los análisis táctico y estratégico no es adecuado hacer una comparación directa de niveles de servicio. Para que ésta tenga sentido se debe homogeneizar la información disponible. En primer lugar los niveles de servicio en la red detallada (táctica), para pares de zonas, incluyen accesos y giros no considerados en las rutas generadas por agregación de arcos en la red estratégica. En los casos en que los tiempos asociados a accesos y giros son importantes, debe hacerse

la corrección correspondiente. Por otro lado la comparación aludida no puede hacerse sin comparar al mismo tiempo los flujos en los arcos seleccionados, de manera de interpretar las diferencias observadas en los niveles de servicio. Dada la nula experiencia existente en este aspecto no parece adecuado dar normas rígidas sobre que será aceptado como consistente ni respecto al detalle del análisis. Las líneas de acción sugeridas son suficientes para orientar una metodología que deberá ser delineada con mayor precisión en la medida que se vaya acumulando conocimiento al respecto.

## **CAPITULO 10: EVALUACION DE IMPACTOS SOCIALES Y AMBIENTALES**

### **SECCION 10.1: ASPECTOS GENERALES**

#### **10.1.1 INTRODUCCION**

**10.1.1.1 Criterios básicos.** Todo proyecto de vialidad urbana provoca efectos adicionales a los considerados en la evaluación económica. En este capítulo se entregan recomendaciones preliminares para la consideración de algunos impactos sociales y ambientales complementarios a los cuantificados económicamente. Estos impactos, que pueden ser positivos o negativos de acuerdo con el carácter de su contribución a los objetivos nacionales, regionales o locales, deben ser considerados en el proceso de selección de alternativas, lo cual exige una forma de presentación adecuada.

**10.1.1.2 Alcances metodológicos.** A diferencia de la evaluación económica que puede ser expresada de manera cualitativa y cuantitativa y resumida a través de los indicadores de rentabilidad, cada impacto social o ambiental debe ser considerado individualmente. Existe una amplia gama de posibilidades para este tipo de impactos y cada uno de ellos puede expresarse en términos y unidades distintas. Eventualmente alguno de ellos se puede estimar en valores monetarios, sin embargo, salvo que las Bases Técnicas de estudio lo requieran explícitamente, no deben sumarse a la evaluación económica. Debe reconocerse que la mayoría de ellos se encuentra en etapa preliminar de investigación por lo cual se espera avances metodológicos importantes en los próximos años. Los diversos estudios que se vayan realizando debieran contribuir en esa dirección. Para cada estudio específico se debe realizar la siguiente secuencia de pasos al estudiar un determinado impacto:

- identificar los impactos sociales y/o ambientales relevantes,
- recoger la información disponible o tomar los datos correspondientes que permitan hacer
- un diagnóstico de la situación actual y su tendencia, -predecir el efecto sobre dichos impactos de las diferentes alternativas en estudio,

- establecer métodos de valoración si es posible para cada impacto o métodos de comparación, así como especificar la forma de presentación de los resultados,
- integrar los resultados obtenidos con los de la evaluación económica con el objetivo de apoyar el proceso de toma de decisión.

## **10.1.2 TIPOLOGÍA DE IMPACTOS**

**10.1.2.1 Impactos sociales.** En términos generales, se puede considerar en esta clasificación todos aquellos impactos no ambientales y que a su vez no estén incluidos en la evaluación económica. Una agrupación temática sugerida es:

- Impactos sobre el uso del suelo. Es posible considerar diversos cambios en el uso del suelo como resultado de una alternativa de diseño. Estos cambios pueden afectar áreas de uso público; ej. áreas verdes, áreas recreacionales y otras, así como áreas de uso Privado; ej. áreas comerciales, áreas residenciales, áreas de estacionamiento y otras;
- Impactos sobre otros usuarios de las vías; De existir impactos relevantes sobre peatones y/o usuarios de bicicletas, no considerados en la evaluación económica, deben incluirse en el análisis de impactos sociales. Para ello deberá estimarse fundamentalmente el efecto sobre el tiempo de viaje cuya valoración se describe en 9.3.3.2;
- Impactos sobre la ocurrencia de accidentes;
- Impactos sobre los usuarios de las vías durante la construcción de las obras.

**10.1.2.2 Impactos ambientales.** Se refieren a impactos sobre el medio ambiente que afectan normalmente a grupos de personas en el área de influencia directa de una alternativa. Los impactos más típicos son: contaminación de aire, contaminación de ruido, vibraciones y efectos estéticos (intrusión visual).

## SECCION 10.2: IMPACTOS SOCIALES

### 10.2.1 CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO

**10.2.1.1. Definición.** Un número importante de proyectos de vialidad urbana implica cambios en el uso del suelo de manera diferente entre las alternativas consideradas incluyendo entre ellas a la situación base. Es necesario, por lo tanto analizar si dichos cambios contribuyen positiva o negativamente a los objetivos del estudio u objetivos de desarrollo locales descartando aquellos cuyo efecto está recogido en la evaluación económica. El tipo de uso del suelo y su magnitud o intensidad estará dada directamente por el diseño establecido o por una apreciación de especialistas en el tema apoyados en un estudio específico. En términos generales, el uso del suelo puede dividirse en uso público y uso privado con distintas formas de valoración en cada caso.

**10.2.1.2 Arcas de uso público.** Determinado el tipo de uso y su magnitud (p. ej. m<sup>2</sup>) su valoración, en el caso de estimarse necesaria, debe responder a un concepto de precio social aportado por la Contra arte del estudio. Mientras no haya estudios específicos al respecto, se recomienda utilizar un valor social único para cualquier área a nivel nacional, dependiente sólo del tipo de uso del suelo. Es necesario recordar el carácter complementario de esta evaluación de impactos, cuidando por lo tanto la doble contabilización.

**10.2.1.3 Arcas de uso privado.** Bajo el supuesto de un mercado del suelo competitivo la valoración social del uso del suelo privado puede aproximarse al valor de mercado. En general esta cifra formará parte de la evaluación económica vía costos de inversión o beneficios, según se extraigan o aporten a este tipo de uso. Sin embargo, adicional a la valoración económica directa puede crearse una diferencia entre alternativas en la medida que el tipo de uso de suelo contribuya diferenciadamente a objetivos de desarrollo locales. Otro caso de excepción lo constituye el suelo destinado o estacionamiento, ya sea que se sustituya por un uso normalmente vial (público) o se añada a las disponibilidades del sector. Los beneficios (o costos) a los usuarios de la vías puedan considerarse a través de la

modelación y evaluación económica. Sin embargo, puede considerarse adicionalmente el impacto a los usuarios de los estacionamientos afectados a través de metodología ad-hoc que consideren, por ejemplo, una demora adicional en búsqueda de estacionamiento más tiempo extra de, caminata, suponiendo que no hay cambios modales o de destino del viaje.

## **10.2.2 ACCIDENTES**

**10.2.2.1 Alcances.** La ocurrencia de accidentes en el tránsito corresponde a un impacto de gran importancia social, mas allá de la valoración económica de los recursos involucradas. Su no consideración en la evaluación económica junto a los beneficios (costos) a los usuarios directos de las vías corresponde a un fenómeno circunstancial producto de la falta de un metodología confiable de estimación. En ese sentido, la exigencia de una recolección sistemática de la información y realización de un diagnóstico de la accidentabilidad del área en estudio representa un enfoque orientado hacia el desarrollo próximo de una metodología de evaluación. En el párrafo 8.4.3.2 de este manual se recomiendan algunos procedimientos para estimar el impacto de una alternativa sobre la tasa de ocurrencia de accidentes. Conocidos los cambios en dicha tasa podrá procederse a hacer una estimación de su impacto económico utilizando para ello el vector de costos de accidentes.

**10.2.2.2 Costos de accidentes.** Dependiendo del método utilizado para estimar las tasas de reducción (o aumento) de accidentes, puede ser necesario estimar costos sociales de accidentes a un nivel de alta desagregación según tipo. En González y Tapia (1987) se entrega una estimación de costos para daños materiales y lesionados, cuyos resultados se han incluido en las Tablas 10.2.2 (1) y 10.2.2 (11). Dichos resultados pueden considerarse como preliminares y podrán cambiar como resultados de nuevas investigaciones. Los detalles de procedimiento de cálculo pueden encontrarse en la referencia. Sin embargo, es importante aclarar los siguientes aspectos:

- En daños materiales los costos son por vehículo. En lesionados son por persona. De esta manera se puede estimar el costo de un accidente específico a través de una suma ponderada de sus consecuencias (número de vehículos participantes, tipo de accidente y nivel de gravedad, número de lesionados y nivel de gravedad).
- Se definen 6 niveles de lesiones, de acuerdo con la gravedad de la lesión máxima. El nivel 1 comprende una lesión menor (curaciones menores en un recinto hospitalario). A partir de nivel 3 (lesión seria) se requiere hospitalización. El nivel 5 (lesión crítica) requiere el uso de la Unidad de Tratamiento Intensivo durante 3 6 4 días en promedio. Por último, el nivel 6 corresponde a una lesión fatal en que se

considera el fallecimiento del afectado en el periodo comprendido entre la ocurrencia del accidente y los treinta días siguientes. El costo de capital humano señalado corresponde a un concepto diferente al de la vida humana. En este caso se intentó sólo estimar el valor equivalente a la pérdida de producción como consecuencia de un accidente fatal, siendo el valor entregado un promedio ponderado único a nivel nacional.

**TABLA 10.2.2 (1)**  
**COSTOS DI, DAÑOS MATERIALES Y PERDIDA DI, USO DE**  
**VEHICULO SEGUN TIPO DE ACCIDENTE Y GRAVEDAD**  
**(\$ Enero 1987)**

Tipo de Accidente	Gravedad de los daños				Valor Medio	Intervalo de Confianza
	Leve	Medio	Grave	Muy Grave		
Atropello	17.552	46.579	145.783	*	59.843	± 20.645
Choque. Frontal	19.002	56.924	127.356	285.765	128.643	± 13.032
Choque Lateral	114.900	38.866	96.032	450.517	85.213	± 11.495
Colisión Frontal	24.238	45.562	142.672	221.800	123.194	± 16.498
Colisión Cruzada	22.330	52.537	123.601	146.977	82.322	± 9.498
Colisión Posterior	24.935	58.304	131.817	298.085	102.615	±12.977
Volcadura	*	*	201.057	909.816	555.436	± 101.072
Caída de vehículo	*	*	*	168.936	168.936	± 34.795
Otros	13.796	56.744	88.524	*	45.910	± 15.906
Pérdida Total	*	*	*	*	784.549	± 40.577
Pérdida de uso de vehículo	4.648	11.952	23.240	39.840	13.280	

**TABLA 10.2.2 (11)**

## **COSTOS SOCIALES DE ACCIDENTES EN EL TRANSITO**

**(\$ Enero 1987)**

<b>Nivel Gravedad</b>	<b>Lesionados</b>	<b>Costo Administrativo</b>	<b>Capital Humano</b>	<b>Funerales</b>
1	1.019	35.681	5.656	*
2	2.531	36.335	28.280	*
3	34.703	130.259	48.076	*
4	223.497	137.492	243.724	*
5	764.416	187.725	678.720	*
Fatal	55.172	167.299	4.207.652	106.080
Sólo daños	*	35.681	*	*

### **10.2.3 COSTOS DE CONGESTION DURANTE LA CONSTRUCCION**

**10.2.3.1 Alcances.** En todo proyecto de vialidad urbana que signifique una alteración importante de las condiciones normales de operación del tráfico debe estimarse los costos de congestión durante la construcción. Los requerimientos del estudio indicarán si dichos costos se agregan a los costos sociales de inversión, y por ende a la evaluación económica e indicadores de rentabilidad, o a la evaluación complementaria de impactos sociales. La metodología de modelación se indica en 8.3.4.2. La valoración de los recursos afectados (tiempo, combustible u otros costos de -operación) debe ser la misma utilizada en la evaluación económica (Cap. 9).

## SECCION 10.3: IMPACTOS AMBIENTALES

### 10.3.1 CONTAMINACION DEL AIRE

**10.3.2.1 Definición.** La circulación de vehículos provoca emisión de contaminantes atmosféricos a través de la combustión de hidrocarburos en el motor. Dicha emisión contempla productos que provienen de la combustión incompleta (básicamente monóxido de carbono, hidrocarburos en aerosol, algún material particulado) y productos originados en reacciones químicas entre impurezas contenidas en el combustible y oxígeno del aire (principalmente óxidos de nitrógeno). Estudios recientes han establecido que la participación de los vehículos es preponderante en lo que se refiere a tres de estos contaminantes, cuya concentración excede largamente las normas de calidad de aire vigentes; el Monóxido de Carbono (CO), los hidrocarburos atmosféricos no mecánicos (HC) y los óxidos de nitrógeno (NOx) (IASA, 1981).

**10.3.1.1 Factores de emisión de contaminantes.** La emisión de contaminantes tiene una relación directa con las detenciones, ciclo de aceleración-deceleración y circulación lenta. El cálculo de los impactos se realiza a partir de los resultados de la modelación TRANSYT utilizando un procedimiento similar al de la estimación de consumo de combustible. La matriz de emisiones en función de la velocidad y las emisiones en ralentí se presentan en las Tablas 10.3.1.(I) y 10.3.1(11), respectivamente.

**TABLA**  
**MATRIZ DE EMISION DE CONTAMINANTES**  
**(gramos/veh-hora)**

Velocidad Km /hr	CO	Autos HC	Nox	Locomoción CO	Colectiva HC	NOx
24,14	1.053	108	60	1.740	244	239
45,05	1.153	122	122	2.245	369	513
72,41	1.303	137	275	2.860	384	863

**Fuente : EPA (1975)**

**TABLA 10.3.1 (11)**  
**EMISION DE CONTAMINANTES EN RALENTI**  
**(gramos/veh-hora)**

Contaminante	Autos	Locomoción Colectiva
CO	1.264	1.589
HC	87	204
Nox	28	121

Fuente: IASA (1981)

**10.3.1.2 Valoración.** La metodología vigente se apoya en una estimación de precios para cada uno de estos contaminantes tal que, si fueran cobrados como un impacto o tarifa de acceso a las áreas de mayor contaminación, inducirían a un número suficiente de vehículos a usar dispositivos de control de emisiones, disminuyendo los niveles de contaminación en ellas a niveles inferiores a las normas. Las cifras más recientes disponibles, originadas en la Comisión de Transporte Urbano, alcanzan a (\$ Octubre de 1988):

CO : \$ 0.00879 por gramo emitido

HC : \$ 0,1275 por gramo emitido

NOx : \$ 0.586 por gramo emitido.

## **10.3.2 RUIDO**

**10.3.2.1 Definición.** Se llama ruido a todo sonido no deseado en términos relativos. Junto a la contaminación de aire representa una de las externalidades de mayor importancia de los sistemas de transporte. Cambios en la gestión o diseño de la vialidad urbana pueden provocar un impacto significativo sobre los niveles de ruido. Sin embargo, también se reconoce que en ambientes urbanos donde ya existe un nivel de ruido significativo durante el día su impacto es menos importante que en ambientes rurales o durante la noche. Se recomienda por lo tanto prestar una especial atención en ambiente urbano a la producción de ruido durante las horas nocturnas. Junto a este análisis de ruido se puede considerar la generación de resonancia o vibraciones, causadas por la presencia de tráfico pesado, en las edificaciones contiguas a la vialidad urbana. Estas se producen ya sea por ondas de sonido de baja frecuencia o por el contacto del vehículo con la superficie vial transmitida a través del suelo.

**10.3.2.2 Medición del impacto.** El ruido proveniente de tráfico se genera a través de la interacción de los neumáticos con la superficie de rodadura, del motor, del sistema de gases, escape y frenos y en el caso de algunos vehículos pesados del cuerpo mismo del vehículo y sistemas complementarios como unidades de refrigeración. El ruido se acentúa durante las etapas de frenado y aceleración en las intersecciones y en velocidades altas. También aumenta si los vehículos y/o la carpeta de rodadura se encuentran en mal estado de mantención. De acuerdo con mediciones de ruido los vehículos pesados y vehículos de dos ruedas con motor son los que provocan una mayor emisión. La unidad de medida del ruido es en decibeles (dBA) - De estimarse necesario hacer una estimación cuantitativa del impacto del ruido puede utilizarse como referencia Arboleda (1985). Para efectos de análisis de este impacto, junto con la determinación de niveles de cambio de ruido en las horas en que se produce, es necesario conocer el número y tipo de personas afectadas. De allí podrá estimarse ya sea el cambio en calidad de vida o eventualmente el impacto sobre la productividad.

### **10.3.3 IMPACTO VISUAL**

**10.3.3.1 Alcances.** Los efectos visuales de las obras de vialidad urbana se pueden clasificar en intrusión y obstrucción (SACTRA, 1986). Esta división intenta separar las componentes subjetivas y objetivas de los efectos visuales. La obstrucción puede ser medida cuantitativamente, correspondiendo a un bloqueo de la visión provocada por un objeto. También se puede hablar de obstrucción de luz solar o generación de conos de sombra cuyo efecto produce claramente un deterioro del área afectada. La intrusión visual corresponde a una subjetivación del efecto que provoca una determinada obra vial y la circulación de vehículos en un grupo de personas. Ambos deben analizarse en especial cuando las alternativas en comparación presentan características marcadamente diferenciadas entre sí. Intentos de estimar cuantitativamente el impacto visual pueden encontrarse en Hothersali y Salter (1977).

## **CAPITULO 11: PRESENTACION DE RESULTADOS**

### **SECCION 11.1: PRESENTACION DE DISEÑOS**

#### **11.1.1 GENERALIDADES**

**11.1.1.1 Documentos básicos.** Los diseños planteados durante el estudio cuentan para su presentación con los dos documentos que constituyen el Informe Final: Memoria, con sus anexos, y Planos. La Memoria debe contener una descripción sintética de las circunstancias y procedimientos rectoras del estudio, y un resumen escrito, con el apoyo gráfico pertinente, de los resultados alcanzados en las tareas relativas al diseño, en cada una de sus etapas. Se deberá traspasar a los Anexos a la Memoria toda aquella información que no sea descripción concisa de dichos procedimientos y circunstancias, o resumen de resultados. No se establecen aquí requisitos de presentación aplicables a la memoria, salvo en lo relativo a formato de volúmenes y a algunas fichas y listados. El documento Planos, en cambio, es objeto, en lo que sigue, de especificaciones más detalladas relativas a formatos, contenidos y/o escalas.

**11.1.1.2 Formato de volúmenes.** Los documentos antedichos deben ser anillados, encuadernados o encarpados en formato consistentes entre sí. Los tamaños aceptables para los volúmenes de la Memoria y Anexos son: carta (215 mm \* 279 mm) y DIN A-4 (210 mm \* 297 mm). Los tamaños doble carta y DIN A-3, ya sea en hojas desplegadas dentro de los volúmenes o en volúmenes independientes (ej.- planos reducidos), son también aceptables.

**11.1.1.3 Formato de planos.** Los planos originales deben ser presentados en formatos de la norma DIN. Los tamaños considerados, sus márgenes y las medidas de sus carátulas, se tabulan a continuación (ver figura 11.1.1 (I)).

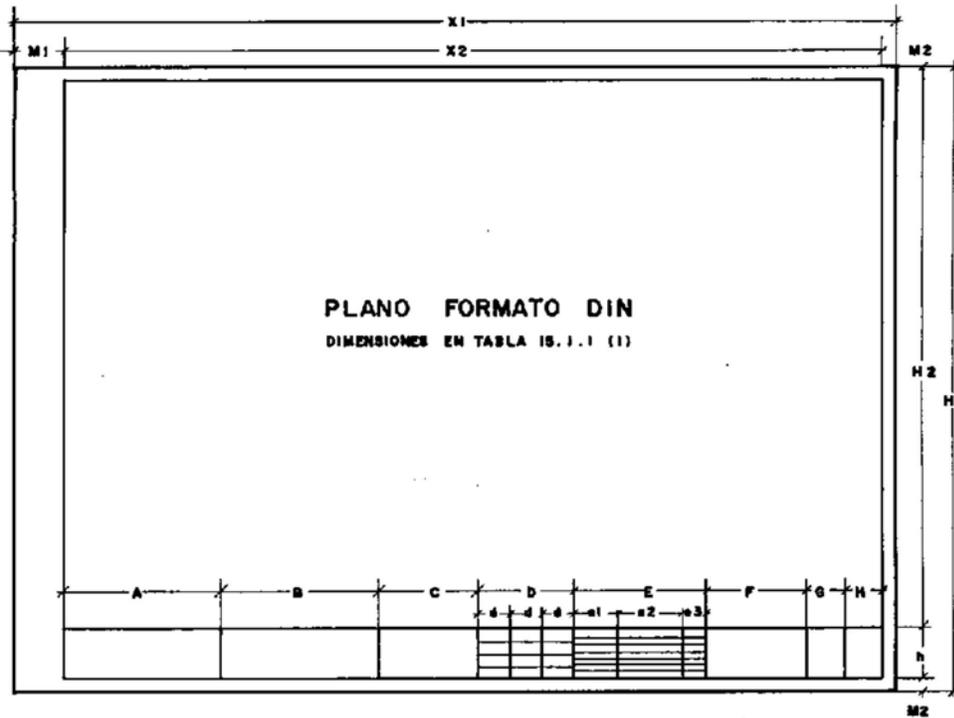
**TABLA 11.1.1 (1)**  
**MEDIDAS DE PLANOS (mm)**

Código	Dimensión		Márgenes		Arca-dibujo		Dimensiones de la Carátula 1											
	Alto	Ancho	Izq.	Demás	Alto	Ancho h(*)	A	B	C	D=	E=	F	G	H				
	[H1]	[X1]	[M1]	[M2]	[H2]	[X2]	3d e1+e2+e3											
DIN A-1	594 *	841	40	50	1050	574 *	791	3050	150	150	100	90	40	60	20	110	35	35
DIN A-2	420 *	594	28,3	7,5		370 *	574	21,2	106	106	71	64	28	43	14	78	25	25
DIN A-3	297 *	420	20,0	5,0		287 *	395	15,0	75	75	50	45	20	30	10	55	17	17

(\*) Cada una de las cuatro y seis líneas en que respectiva y verticalmente se dividen los recuadros "D" y "E" de la carátula, tienen un cuarto y un sexto de la altura (h) también respectivamente (ver Figura 11.1.1 (1)).

**11.1.1.4 Simbología de planos.** A continuación se presenta un conjunto de claves y simbologías que deben ser utilizadas por el Consultor para la identificación de elementos puntuales, lineales y superficiales de los planos que presente, tanto para los planos básicos (topografía y monografías) como para los de anteproyecto en cualquiera de sus aspectos.

**FIGURA 11.1.1(I)**  
**FORMATO PARA PLANOS**



**CONTENIDO DE LOS CAJETINES (EJEMPLD)**

**A:** IDENTIFICACION DEL MANDANTE  
REPUBLICA DE CHILE / COMISION DE TRANSPORTE URBANO / INTENDENCIA REGION METROPOLITANA.

**B:** IDENTIFICACION DEL ESTUDIO  
(NOMBRE, FECHA Y N° DE CONVENIO, CONTRATO, ETC.)

**C:** IDENTIFICACION DEL CONSULTOR  
(LOGO, NOMBRE EMPRESA Y/O JEFE PROYECTO)

**D:**

ACTIVIDAD	FIRMA	FECHA

**E:**

APROBACION (ORGANISMO)	NOMBRE Y FIRMA	FECHA

**F:** CONTENIDO DE LA LAMINA

**G:** ESCALA(S)

**H:** N° PLANO

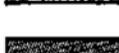
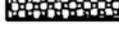
**TABLA 11.1.1(II)**  
**NOMENCLATURA PARA ELEMENTOS PUNTUALES EN PLANTA**

Descripción por Rubro	OBJETO EXISTENTE EN LA TOPOGRAFIA O QUE SE MANTIENE (1)			OBJETO MODIFICADO (2)			OBJETO ANTEPROYECTADO		
	Representación			Representación			Representación		
	Símbolo	Ø/lado	Grosor	Símbolo	Ø/lado	Grosor	Símbolo	Ø/lado	Grosor
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
<b>Servicios</b>									
Sumidero	—	2 x 1	0,25	2 x 1	0,25	□	2,5	0,50	
Cámara alcantarillado	⊙	1,5	0,25	1,5-2,5	0,25	⊙	2,5	0,50	
Cámara agua potable	⊙	1,5	0,25	1,5-2,5	0,25	⊙	2,5	0,50	
Cámara eléctrica	⊙	1,5	0,25	1,5-2,5	0,25	⊙	2,5	0,50	
Cámara teléfono	⊙	1,5	0,25	1,5-2,5	0,25	⊙	2,5	0,50	
Cámara canal	⊙	1,5	0,25	1,5-2,5	0,25	⊙	2,5	0,50	
Poste madera	■	1,5	0,25	1,5-2,5	0,25	■	2,5	0,50	
Poste madera c/luminaria	■-○	1,5	0,25	1,5-2,5	0,25	■-○	2,5	0,50	
Poste fierro	■	1,5	0,25	1,5-2,5	0,25	■	2,5	0,50	
Poste fierro c/luminaria	■-○	1,5	0,25	1,5-2,5	0,25	■-○	2,5	0,50	
Poste hormigón	□	1,5	0,25	1,5-2,5	0,25	□	2,5	0,50	
Poste hormigón c/luminaria	□-○	1,5	0,25	1,5-2,5	0,25	□-○	2,5	0,50	
Poste c/transformador	⊙	1,5	0,25	1,5-2,5	0,25	⊙	2,5	0,50	
Poste c/transformador/luminaria	⊙-○	1,5	0,25	1,5-2,5	0,25	⊙-○	2,5	0,50	
Tensor	—	-	0,25	-	-	—	-	0,50	
Marco partidor	—	-	0,25	-	-	—	-	0,50	
Obra de arte	—	-	0,25	-	-	—	-	0,50	
Grifo	—	-	0,25	-	-	—	-	0,50	
<b>Tránsito</b>									
Semáforo	—	-	0,25	-	-	—	-	0,50	
Semáforo c/gancho	—	-	0,25	-	-	—	-	0,50	
Semáforo c/batonera	—	-	0,25	-	-	—	-	0,50	
Control semáforo	□	1,5	0,25	-	-	□	-	0,50	
Señalización vertical	■	1,5	0,25	-	-	■	2,0	0,50	
<b>Mobiliario y Ornato</b>									
Arbol	⊙	-	0,25	-	-	⊙	-	0,50	
Luminaria ornamental	⊙	-	0,25	-	-	⊙	-	0,50	
Publicidad (con base en terreno)	▲	-	0,25	-	-	▲	-	0,50	
Buzón	▲	-	0,25	-	-	▲	-	0,50	
Basurero	▲	-	0,25	-	-	▲	-	0,50	
Refugio paradero	□	-	0,25	-	-	□	-	0,50	
Kiosco	□	-	0,25	-	-	□	-	0,50	
<b>Geometría</b>									
Vértice de Poligonal	⊙	3	0,50	-	-	-	-	-	
Vértice Auxiliar	⊙	2	0,50	-	-	-	-	-	
Punto de Borde	-	-	-	-	-	◆	1	0,35	
Punto Singular (PS)	-	-	-	-	-	○	1	0,35	
Punto de Perfil (PP)	-	-	-	-	-	+	1	0,35	

**TABLA 11.1.1 (III)**  
**NOMENCLATURA PARA ELEMENTOS LINEALES EN PLANTA**

Descripción del Objeto a Representar	Símbolo	Grosor Línea Tpgr. Proy.
Línea de cierre		0,35
Línea de Edificación		0,50
Línea de Solera		0,18
Soleras rebajadas		0,18
Ejes de calzada		0,18
Bordes de vereda		0,18
Curvas de nivel		0,18
Curvas de nivel (1 de cada 5)		0,35
Borde jardines		0,18
Bordes de cauces abiertos		0,18
Cauces Entubados		0,18
Tendido de alta tensión		0,18
Tendido de baja tensión		0,18
Tendido de teléfonos		0,18
Colectores (cámaras) existentes que se eliminan		0,18
Colectores (cámaras) que se proyectan		-
Cañerías (cámaras) existentes que se eliminan		0,18
Cañerías (cámaras) que se proyectan		-
Cañería $\phi$ 25 mm.		0,18
Cañería $\phi$ 100 mm.		0,18
Cañería $\phi$ 500 mm.		0,18
Refuerzo de cañería		-

**TABLA 11.1.1 (IV)**  
**NOMENCLATURA PARA ELEMENTOS SUPERFICIALES**

Objeto	Clave	Descripción de Tramas
Firme actual	1:	 Normacolor gris claro (Ej.: Mecanorma 217)
Firme a demoler	2:	 1 + Normatone 100-10%
Firme 1 sobre terreno s/demolición	3:	 Normatone 27-20% ó 27-30%
Firme 2 sobre terreno s/demolición	4:	 Normatone 42-20% ó 32-20%
Firme 3 sobre terreno s/demolición	5:	 Normatone 55-30% ó 60-30%
Firme 1 c/demolición firme actual	6:	 2 + 3
Firme 2 c/demolición firme actual	7:	 2 + 4
Firme 3 c/demolición firme actual	8:	 2 + 5
Firme 1 sobre firme actual	9:	 1 + 3
Firme 2 sobre firme actual	10:	 1 + 4
Terraplén (taludes)	11:	 Normatone 254 ó 273 ó 975 ó 274
Corte (taludes)	12:	 Normatone 338 ó 339 ó 940 ó 272
Area verde proyectada	13:	 Normatone 292 ó 293 ó 294 ó 287
Area verde cubriendo firme actual	14:	 1 + 13
Area verde c/demolición firme actual	15:	 2 + 13
Adocreto (islas, separadores, veredas)	16:	 Normatone 1263 ó 1265
Baldosas en veredas	17:	 Normatone 1263 ó 247 ó 982 ó 348
Expropiaciones	18:	 Manual

Nota: Las tramas en recuadros se mencionan en primer término, en negrita.

## **11.1.2 PRESENTACION DE LA INFORMACION DEL TERRENO**

**11.1.2.1 Fichas, listados y planos.** Excluyéndose las descripciones escritas que forman parte de la Memoria, los elementos descriptivos básicos del diseño vial urbano son cierto número de fichas, listados computacionales y planos, cuyas ocurrencia y características se precisan o refieren a continuación, para cada una de las actividades que los generan.

**11.1.2.2 Topografía.** Los contenidos relativos a las tareas topográficas se resumen a continuación. Se recuerda que la existencia de perfiles de calzadas existentes estará condicionada a su aprovechamiento, tal como se especifica en 5.1.2.7, inciso b, y que algunas tareas se ejecutan previamente a la etapa de prediseño y otras una vez replanteados los ejes que definen la vialidad anteproyectada.

**a) Planta. (Ver 5.1.2).** La planimetría debe ser presentada en planos a escala 1:500, formateados de acuerdo a lo tabulado en 11.1.1 (1). En él se debe distinguir todos los elementos que configuran la plataforma vial o la plataforma pública, dependiendo esto de caso urbano y del alcance del anteproyecto. Estos elementos, así como la forma de representarlos en planta, aparecen en las Tablas 11.1.1 (11), (111) y (IV). La planimetría que se entregue como tal deberá contener los puntos taquimétricos con sus cotas, pudiendo omitirse esta información en la base utilizada para la presentación de los anteproyectos. También deberá reflejar, mediante cruces o cuadrículado, y con las abscisas y ordenadas del caso, el sistema ortogonal de referencia establecido.

**b) Perfiles longitudinales de calzadas existentes. (Ver 5.1.2.7.b).** Estos perfiles estarán constituidos por puntos (PP) cuyas cotas relativas u oficiales deben estar asociadas a su Distancia al Origen (DO). Se levantarán puntos que disten entre sí no más de veinte metros, y que deberán ser- los de intersección de los ejes en planta utilizados (ver 7.1.1.9) con ejes de replanteo, líneas de solera y de edificación de las plataformas involucradas en el prediseño; los extremos de zonas pavimentadas; los extremos o ejes de obras de arte que formen parte de las calzadas, que incidan o que sean paralelas a éstas; los de principio y fin

de curvas; y por último, los puntos intermedios que sean necesarios para cumplir con la condición impuesta a la distancia entre PP. Los perfiles deberán ser dibujados a escalas 1:500 (H) y 1:50 (V).

**c) Perfiles transversales de calzadas existentes.** (Ver 5.1.2.7.b). Estos perfiles deberán levantarse sobre los PP anteriormente fijados. Deberán quedar definidos por las cotas relativas u oficiales de este punto básico y de los otros que reflejan la altimetría transversal de lo existente: separaciones de pistas, soleras (arriba y abajo), bordes de veredas, líneas de cierre o edificación, bordes y/o ejes de obras de arte (superiores y/O de fondo), y los puntos donde la plataforma vial o pública presenten discontinuidades altimétricas sistemáticas en sus perfiles. Las distancias entre cada punto y el PP básico deberán aparecer bajo cada uno de ellos. Los perfiles deberán ser dibujados a escalas 1:250 (H) y 1:25 (V).

**d) Perfiles transversales en zonas de borde.** (Ver 5.1.2.7.c). Estos perfiles difieren de los anteriores sólo en la distancia que los separa (10 metros) y en el hecho de ser éstos obligatorios para todo anteproyecto, se aprovechen o no las calzadas existentes. Valen entonces las normas de presentación del inciso anterior.

**e) Perfiles longitudinales para anteproyecto.** (Ver 5.1.2.S.b). Estos perfiles contendrán distancias al origen y cotas de terreno de puntos regularmente distanciados entre sí (PP cada 20 metros). A éstos se agregarán sus puntos de cruce con soleras existentes y con los puntos singulares (comienzo, final, eje) de las obras de arte percibibles en la plataforma vial o pública. Los perfiles deberán ser dibujados a escalas 1:250 (H) y 1:25 (V).

**f) Perfiles transversales para anteproyecto.** (Ver 5.1.2.8.c). Estos perfiles transversales contendrán las cotas del terreno en el eje de replanteo (PP) y en las líneas de solera, cierre y edificación intersectadas. Además, cuando existan tales elementos, se deberá reflejar en ellos la posición de bordes o pies de: acequias, canales, ríos, muros, terraplenes y cortes; así como toda otra singularidad que sea condicionante del diseño, ya

sea en lo geométrico o lo presupuestario. Los perfiles deberán ser dibujados a escalas 1:250 (H) y 1.25 (V).

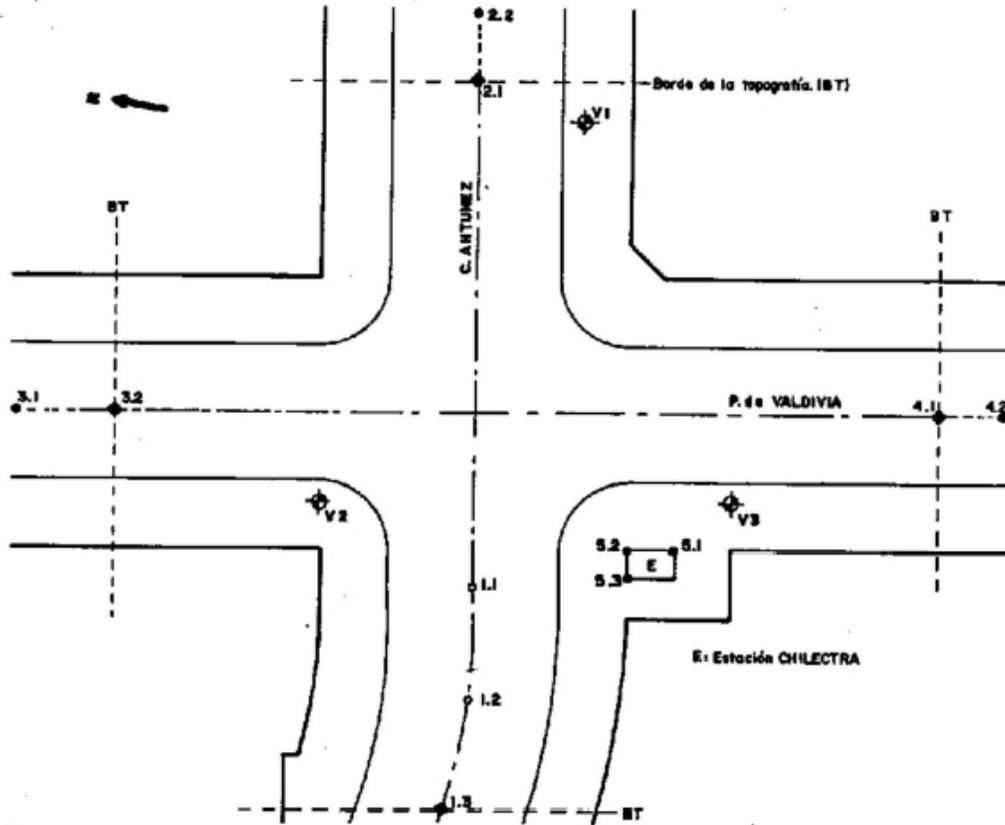
**g) Topografía de sectores especiales.** Los planos derivados de levantamientos especiales (ver 5.1.2.9) se presentarán en los mismos formatos y con los mismos contenidos que lo señalado en el inciso a) anterior.

**h) Listados de coordenadas.** Los planos topográficos deberán ser complementados con la información matemática adicional descrita en 5.1.2.6, para lo cual bastará llenar e incluir en la memoria una ficha como la siguiente, que corresponde a un caso ficticio. Ver figura 11.1.2 (A).

**TABLA 11.1.2(I)**  
**COORDENADAS [m] DE PUNTOS SIGULARES DE LA**  
**TOPOGRAFIA (FACSIMIL)**

Cód	Descripción del Elemento	Nº PS	Descripción del Punto Singular	Abscisa del PS [m]	Ordenada del PS [m]	Cota del PS [m]
VP	Poligonal	V.1	Primer vértice	---'---'---	---'---'---	---'---
		V.2	Segundo vértice	---'---'---	---'---'---	---'---
		V.3	Tercer vértice	---'---'---	---'---'---	---'---
P1	Eje calzada C. Antúnez (P)	1.1	Extremo curva poniente	---'---'---	---'---'---	---'---
		1.2	Punto intermedio curva	---'---'---	---'---'---	---'---
		1.3	Borde de la topografía	---'---'---	---'---'---	---'---
P2	Eje calzada C. Antúnez (O)	2.1	Borde de la topografía	---'---'---	---'---'---	---'---
		2.2	2º punto al oriente	---'---'---	---'---'---	---'---
P3	Eje calzada P. Valdivia (N)	3.1	Extremo norte recta	---'---'---	---'---'---	---'---
		3.2	Borde de la topografía	---'---'---	---'---'---	---'---
P4	Eje calzada P. Valdivia (S)	4.2	Borde de la topografía	---'---'---	---'---'---	---'---
		4.2	Extremo sur recta	---'---'---	---'---'---	---'---
P5	Estación Chilactra	5.1	Esquina Suroriente	---'---'---	---'---'---	---'---
		5.2	Esquina Nororiente	---'---'---	---'---'---	---'---

**FIGURA 11.1.2(I)**  
**PUNTOS SINGULARES DE LA TOPOGRAFIA DE LA TABLA 11.1.2 (I)**



**11.1.2.3 Aspectos urbanísticos y ambientales.** La caracterización del contexto urbano del diseño se servirá de una ficha, y eventualmente de una monografía(ver 5.1.3.3), sin perjuicio de la descripción escrita que deberá hacerse a nivel de memoria.

a) **Ficha preliminar.** Los datos básicos d dicho contexto urbano se deberán consignar inicialmente en la ficha que se presenta en la Tabla 11.1.2 (II), en página siguiente.

b) **Monografía.** En ella se deberá relevar, mediante recursos gráficos adecuados, las áreas verdes, los centros de generación de flujos y los puntos con valor urbanístico presentes en la zona de anteproyecto. La escala de este plano podrá ser la del plano

regulador, en caso de ser éste su base; 1:1000 ó 1:5000 si la base es la topografía del estudio, reducida o no a la mitad, o la del plano director (ver 11.1.4.2).

#### **11.1.2.4 Infraestructura y equipamiento actuales.**

**a) Servicios. (Ver 5.1.4.2 al 5.1.4.5)** La presentación de los elementos constitutivos de cada servicio público presente en el área en estudio se efectuará mediante monografías basadas en la planimetría, reducida a la mitad o no (escalas 1:1000 ó 1:500), con el detalle especificado en el acápite 5.1.4. Cada servicio deberá dar origen a una monografía, con la excepción de la de alcantarillados y la de canales (ver 5.1.4.3.a), que pueden representarse sobre una base topográfica común. Se podrá incorporar dos o más monografías en una misma lámina, si ello es gráficamente posible, pero cada una de ellas deberá mantener su propia base topográfica, reducida a la mitad o no (1:1000 ó 1:500).

**b) Tránsito.** Sobre una base topográfica a la escala original, o bien reducida a la mitad (1:1000), se deberá consignar: los elementos de control (semáforos) existentes en terreno, especificando tipo de equipo y las programaciones vigentes; la señalización vertical, indicando su posición, tipo y estado de conservación; la ubicación, uso y grado de ocupación de las plazas de estacionamiento dispuestas en la zona; los paraderos de locomoción colectiva, relevando la existencia de refugios si es el caso; y en general, cualquier singularidad que presente la zona desde el punto de vista de Tránsito. Esta monografía puede superponerse a alguna de las anteriores, si ello no ocasiona problemas de legibilidad, agregarse a un plano común donde las monografías independientes hayan sido reunidas, o presentarse en forma individual.

**e) Firmes, soleras y revestimientos.** Las características básicas de los pavimentos existentes (ver 5.1.4.7) se consignarán en una ficha como la que se entrega en la Tabla 11.1.2 (111) en página siguiente. Las características fichadas serán medias para toda el área, por lo que los problemas puntuales que pudieran detectarse no deben ser considerados en los puntos 'B' y 'C' de esta ficha, pero sí identificados en el punto 'D' observaciones. En el caso de ejes que presenten tramos identificables con distintos tipos de carpeta de rodado, se deberá confeccionar una ficha por tramo. La monografía de firmes estipulada en 5.1.4.7

debe presentarse sobre la base topográfica (1:500) o sobre una reducción de la misma a la mitad (1:1000), donde se deberá graficar la posición y/o forma de los firmes, soleras y revestimientos aprovechados.

**11.1.2.5 Mecánica de suelos.** La actividad de Mecánica de Suelos (5.1.5) deberá generar un informe abarcando al menos los siguientes tópicos: listado y ubicación de pozos, estratigrafía, resultados de ensayos, características del subsuelo, y memoria con los parámetros de diseño de pavimentos y fundaciones de estructuras.

**TABLA 11.1.2 (II)**  
**FICHA DE ASPECTOS URBANISTICOS Y AMBIENTALES**

**Estudio:**

**Fecha:**

**PLANES REGULADORES**

Comuna: ..... Fecha: .....  
 Comuna: ..... Fecha: .....

**SECCIONALES**

Fecha: .....  
 Fecha: .....

APERTURA NUEVAS CALLES .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
ENSANCHE DE CALLES .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
OTRAS DECLARATORIAS DE USO PUBLICO .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
AREAS DE USO RESTRINGIDO .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO

**USO GENERALIZADO DEL SUELO**

EL AREA ES UNIFORME .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
SE DISTINGUEN TRAMOS HOMOGENEOS .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO

<input type="checkbox"/> Vivienda	<input type="checkbox"/> Vivienda-Comercio	<input type="checkbox"/> Vivienda-Industria
<input type="checkbox"/> Areas Verdes	<input type="checkbox"/> Otros Usos: .....	

**CALIDAD Y TIPO DE EDIFICACION**

<input type="checkbox"/> Buena	<input type="checkbox"/> Aislada	<input type="checkbox"/> Altura media (pisos)
<input type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Continua	<input type="checkbox"/> Altura media (pisos)
<input type="checkbox"/> Mala	<input type="checkbox"/> Pareada	<input type="checkbox"/> Altura media (pisos)

**VALOR DEL SUELO PREDOMINANTE**

<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------

**CALIDAD AMBIENTAL**

PUNTOS DE INTERES ARQUITECTONICO O TURISTICO .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
PARQUES O PASEOS .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CALLE CON ARBOLACION IMPORTANTE .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
EQUIPAMIENTO INSTITUCIONAL .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
EQUIPAMIENTO RECREACIONAL .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
EQUIPAMIENTO EDUCACIONAL .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CENTROS COMERCIALES IMPORTANTES .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
ILUMINACION INTEGRAL .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
ILUMINACION VIAL .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
ILUMINACION PEATONAL .....	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO

**TABLA 11.1.2 (III)**  
**FICHA DE ESTADO DE PAVIMENTOS**

**Estudio:**

**Fecha:**

**Tramo:**

**A: TIPO DE PAVIMENTO**

Hormigón (1)     Asfalto (2)     Adoquín (3)  
 Adocreto (4)     Otro (5)     Repaviment: Capa superior ( )  
Capa inferior ( )

**B: CALIDAD**

	BUENO	REGULAR	MALO
Perfil Transversal	[ ]	[ ]	[ ]
Perfil Longitudinal	[ ]	[ ]	[ ]
Rugosidad	[ ]	[ ]	[ ]
Capacidad de Drenaje	[ ]	[ ]	[ ]

**C: PROBLEMAS PRESENTES**

	MAYORES	MENORES
Baches	[ ]	[ ]
Bacheos en mal estado	[ ]	[ ]
Agrietamiento	[ ]	[ ]
Juntas en mal estado	[ ]	[ ]
Hundimientos o Deformación	[ ]	[ ]
Soleras en mal estado	[ ]	[ ]
Falta de Soleras	[ ]	[ ]

**D: OBSERVACIONES**

(Describir brevemente problemas no generalizados)

### **11.1.3 PRESENTACION DE LOS PREDISEÑOS**

**11.1.3.1 Diagramas de flujo.** Los flujos vehiculares presentes, así como los flujos de diseño considerados para los prediseños que se evalúen, deben ser representados gráficamente mediante esquemas de flechas. El grosor de estas flechas, que deben ser reproducción simplificada de la morfología de los prediseño, debe reflejar, aproximadamente a escala, los volúmenes que solicitaran la infraestructura prevista para cada uno de los movimientos contemplados. Estos diagramas deben presentarse al menos para los períodos punta de día laboral, y de preferencia para todos los periodos considerados en la modelación y evaluación.

**11.1.3.2 Prediseños viales.** Los prediseños que hayan sido objeto de evaluación deben ser presentados sobre la base topográfico donde ellos fueron gráficamente desarrollados, a la escala original (1:500) o reducida a la mitad (1:1000). Se considerará suficiente el dibujo de líneas de solera y demarcación de pistas, y las calzadas resultantes del prediseño deberán ser realizadas con sólo una de las tramas consideradas para firmes en la Tabla 11.1.1 (IV). Los perfiles longitudinales y transversales, en el caso de haber sido necesario considerarlos (ver 4.1.3.4), podrán presentarse a cualquier pat de escalas horizontal y vertical, siempre que estén en relación de 1:10 entre sí. En el caso de ser gráficamente posible, una lámina podrá contener más de un prediseño, cada uno de ellos sobre su propia base topográfico, y también los perfiles longitudinales y transversales del caso.

**11.1.3.3 Esquemas de reposición de servicios.** Estos esquemas, a nivel de prediseño, se presentarán en forma similar a lo establecido en 11.1.2.4a); esto es, separadamente por servicio, dispuestos de a uno o más en cada lámina, dependiendo de la magnitud del área afectada en cada caso y de la escala elegida. Los formatos y simbologías son materia de las tablas 11.1.1 (1) a (IV).

**11.1.3.4 Esquemas de estructuras.** A nivel de prediseño estos esquemas se presentarán gráficamente mediante croquis a escala en un formato compatible con el tamaño carta, de manera que puedan insertarse sin problemas en la memoria del estudio. Bastará en tal caso

con presentar un corte longitudinal de la estructura que muestre las dimensiones más relevantes del diseño, el número de tramos, cepas y gálibos. Se acompañará además con un corte del tablero en que se indiquen las soluciones adoptadas de estructuración y el perfil transversal, de la calzada vehicular.

## **11.1.4 PRESENTACION DE LOS ANTEPROYECTOS**

**11.1.4.1 Generalidades.** La presentación de la(s) alternativas evaluadas, y desarrollada(s) en sus aspectos físicos hasta nivel de anteproyecto, deberá hacerse principalmente mediante planos. Esta presentación será complementada con la información descrita en el párrafo 6.1.1.5 y las descripciones contenidas en la memoria del estudio. La geometría de los elementos que constituyen la plataforma vial deberá ser explicitada mediante los planos que más adelante se detallan, y que definirán tanto sus singularidades como el contexto urbano en el que la(s) solución(ones) se inscriban. Estos planos serán los mínimos exigibles, sin perjuicio que las singularidades del proyecto puedan hacer necesaria o conveniente la ampliación de la presentación mediante planos no contemplados aquí.

**11.1.4.2 Plano director.** Este plano debe contener una planta general, donde pueda apreciarse la totalidad del anteproyecto. El monto de la reducción necesaria para ello, y por lo tanto la escala final de dicha planta, dependerá del tamaño y morfología de los dispositivos. En el caso de ejes, éstos podrán segmentarse para que dicha escala no resulte demasiado pequeña. Se deberá indicar la distribución de las láminas a escala 1:500 que conforman esta planta general, con el fin de orientar la consulta de detalles del anteproyecto en los planos a esa escala ( ver párrafo 11.1.4.4). Además, en este plano debe incluirse un plano de posición que sirva para situar las obras propuestas en el contexto urbano al que pertenecen: la ciudad o un entorno identificable de ella. Por último, el Plano Director debe contener un Índice de Planos. En el caso de caber todo el anteproyecto en una lámina a escala 1:500, la Planta de Detalle, con los agregados anotados, reemplazará al Plano Director.

**11.1.4.3 Ejes de replanteo.** Se deberá confeccionar un plano de planta, a escala 1:500 6 1:1000, donde los bordes de las calzadas se insinúen mediante trazos finos (máximo 0,25 mm.) y los ejes de replanteo sean realizados con línea gruesa (mínimo 0,5 mm.). Los ejes de replanteo mostrarán sus Puntos Singulares (PS) y Puntos de Perfiles cada 20 metros (PP), mediante círculos pequeños y trazos cortos perpendiculares al eje, respectivamente. También se puntualizarán los vértices de la poligonal envolvente del trazado en planta y se

detallarán las características geométricas de la solución planteada para cada uno de ellos: radio, ángulo  $w$ , tangentes, desarrollo y flecha, en el caso de empalmes circulares; y parámetro, ángulos  $w$  y  $r$ , tangentes (OY), desarrollos del círculo y de las clotoides y valores paramétricos de  $X_p$  e  $Y_p$ , en el caso de usarse curvas de transición (ver Láminas 3.501.202 [11 A y 3.501.204 [11 B de las REDEVU). En este plano se representarán los puntos que, pareados según las conveniencias del proceso (triángulos con ángulos basales agudos), constituirán las bases de replanteo de los ejes que el anteproyecto consulte para tales fines.

**11.1.4.4 Planta de detalle.** Cada una de las láminas que formen este plano deberá llevar un cuadro de ubicación donde se realce aquella parte del total del anteproyecto que ellas representan. Los planos deberán contener toda la información recogida y producida durante el estudio, pudiendo omitirse los siguientes elementos: de la base topográfico, los puntos para replanteo, los puntos taquimétricos y sus cotas (no así las curvas de nivel); y de los anteproyectos de reposición de servicios y estructuras, todos los detalles que no sean postes, cámaras, tendidos, tuberías y líneas de contorno de las obras civiles del caso. La escala deberá ser 1:500. A continuación se enumeran los elementos mínimos de anteproyecto que deben representarse en la Planta de Detalle.

**a) Calzadas.** Todas las calzadas, incluyendo aquellas para bicicletas, deberán ser representadas mediante los recursos gráficos listados en la Tabla 11.1.1 (IV).

**b) Medianas, bandejones e islas.** Los extremos de medianas, bandejones o islas deben ser tratados según lo recomendado en el tópico 3.301.6 de las REDEVU. Las partes de estos dispositivos separadores que permanezcan elevadas después de los retranqueos de soleras que allí se estipulan, deben ser gráficamente distinguidas mediante el tratamiento que corresponda al recubrimiento del caso (ver Tabla 11.1.1 (IV)), y las partes de los mismos que permanezcan a nivel de calzada deben ser demarcados (ver inciso g del presente párrafo) -

**e) Cruces de calzada.** Los cruces para peatones deben dibujarse (ver inciso g del presente párrafo) sólo cuando existen semáforos que regulan el cruce. Los rebajes de solera propios de estos dispositivos se deben dibujar en todos los casos (ver inciso g a continuación y 3.402.5 de las REDEYU).

**d) Accesos a la propiedad.** Los accesos a la propiedad deben ser identificados mediante el rebaje de soleras del caso y la representación de pavimentos si éstos resultasen parte de la obra disecada. En caso de tratarse de un acceso mayor: supermercado, gasolinera u otra instalación generadora de flujos vehiculares significativos, debe procederse según lo recomendado en la Sección 3.404- de las REDEVU.

**e) Paradas de buses.** Estos dispositivos deben ser dispuestos de acuerdo a lo recomendado en 3.502.204 (5) de las REDEYU, en lo que se refiere a sus inclinaciones transversales y a la ley de transición de ancho. Pero el diseño en planta debe regirse por un nuevo criterio, consistente en flexibilizar el ancho mínimo de los ensanches para paraderos, y en aumentar la longitud de las zonas de generación y desaparición de los mismos. El ancho de la banda adicional de calzada puede llegar a ser de sólo un metro si ello basta para no disminuir el número de filas de vehículos operando -aunque restringidamente- en el pavimento que queda libre cuando los buses hacen buen uso del sobreancho; y las transiciones pueden ser de 40, 50 ó 60 metros, y atravesar, virtualmente, las bocacalles cercanas.

**f) Estacionamientos.** Cuando se prevea la inclusión de bandas de estacionamiento (paralelo o acuatado), o de estacionamientos segregados, los dispositivos correspondientes (ver 3.502.204 (1) y 3.502.3 de las REDEVU) deberán ser representados en la planta de detalle.

**g) Demarcación.** La planta de; anteproyecto debe reflejar, a una escala aproximada, toda la demarcación necesaria para una óptima legibilidad de los dispositivos diseñados: demarcación de cruces, virajes, extremos de pistas, estacionamientos, cruces peatonales y otras (demarcación para buses, taxis y zonas a nivel de calzada generadas por el retranqueo

de los extremos de islas, medianas y bandejones). Estas demarcaciones aparecen detalladas en el Capítulo 3, secciones 3.2 a 3.7 del Manual de Señalización de Tránsito (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 1983).

**h) Señalización.** La posición de los postes de señalización, así como el tipo de información contenida en ellos, debe ajustarse a las normas pertinentes del Ministerio de Transportes (Capítulo 1 del Manual de Señalización de Tránsito) y ser parte de la información contenida en la planta de detalle del anteproyecto.

**i) Semáforos.** La posición de los postes de semáforos debe ser indicada en los planos de planta, así como el número y tipo de cabezales considerados en cada uno de ellos. Todo esto de acuerdo a las recomendaciones que en tal sentido obran en el acápite 4.3.2 del Manual de Señalización de Tránsito.

**j) Protección.** La posición de los elementos de protección (ejemplo- barandas según planos 4-302-001-A y B, y 4-302-005 del Volumen 4 Obras Tipo del Manual de Carreteras del MOP) deberá quedar representada en la planta de detalle del anteproyecto.

**k) Iluminación.** La posición de los postes de iluminación deberá quedar reflejada en la planta de detalle del anteproyecto, sin perjuicio de las precisiones en memoria (listado de coordenadas) que algún elemento de importancia singular o de posición conflictiva pueda requerir.

**l) Plantaciones.** Las zonas de plantaciones previstas en el anteproyecto deben ser reflejadas esquemáticamente en planta, mediante los recursos gráficos tabulados en 11.1.1 (IV).

**m) Obras de tierra.** En aquellos casos en que se prevea movimientos de tierra que configuren terraplenes o cortes, los pies de unos y otros, así como las superficies de los taludes correspondientes, deben ser reflejados de acuerdo a lo establecido en la Tabla 1.1.1 (IV).

**n) Estructuras.** La planta del anteproyecto debe contener la proyección correspondiente de aquellos elementos de muros y puentes que reflejen de manera mínima la existencia de los mismos; o sea, bordes de tablero, estribos y muros. En los perfiles longitudinales de los ejes se debe reflejar en forma esquemática, pero respetando dimensiones y destacando los contornos de sus elementos principales, las secciones correspondientes de las estructuras involucradas.

**o) Drenajes y servicios.** Las obras de drenaje y de reposición de servicios, en sus partes visibles, deben quedar representadas en la planta de detalle de anteproyecto, mediante los recursos gráficos contenidos -en las Tablas 11.1.1 (11) y (111).

**p) Expropiaciones.** Las zonas sujetas a expropiación deben presentarse achuradas en la Planta de Detalle.

**11.1.4.5 Perfiles longitudinales de anteproyecto.** (Ver 6.1.2.3). Estos perfiles, dibujados a escalas 1:500 (H) y 1:50 (V), deberán presentar cotas de terreno y de anteproyecto en cada uno de sus PP. Bajo ellos, y en el mismo orden, se deberá incluir: el diagrama de curvaturas de eje en planta, con la misma escala horizontal (1:500) y con escala vertical inversamente proporcional al radio de curvatura (ejemplo 1:2R); el diagrama de peraltes mencionado en 6.1.1.10; el diagrama de anchos de calzada; y, entre los dos últimos, un eje de referencia para anotar, por sobre o bajo él, las DO de los puntos característicos de los diagramas de curvaturas y peraltes, y las DO de los puntos donde se producen cambios de ancho de calzada, respectivamente.

**11.1.4.6 Perfiles transversales de anteproyecto.** (Ver 6.1.2.4). Los perfiles transversales, dibujados a escalas 1:250 (H) y 1:25 (V), deberán incluir cotas de anteproyecto al menos en el eje y líneas de solera (arriba y abajo), además de las cotas de terreno (ver 11.1.2.2f).

**11.1.4.7 Diagramación de los tres planos anteriores.** La Planta de Detalle y los perfiles longitudinales y transversales pueden ser presentados por separado o combinados de manera que se tenga una definición completa de cada elemento de diseño, o de tramos

sucesivos de un eje, en cada lámina. Si esto se hiciese así, los nombres de los planos deberán adaptarse al contenido.

**11.1.4.8 Perfiles tipo y detalles.** Los perfiles tipo de calzadas de anteproyecto, incluida la tipificación de los firmes contemplados en el estudio (ver 6.1.1) deben ser objeto de un plano. En este plano se deberá incluir aquellos detalles del diseño en general que constituyan novedad con respecto a lo recomendado en las REDEVU.

**11.1.4.9 Red de aguas lluvias y aguas servidas.** Aun cuando no correspondan a sistemas unitarios, las modificaciones de estas redes se desarrollarán en un solo plano. El contenido de éste se detalla a continuación.

**a) Planta.** Se desarrollará a escala 1:500 o 1:1000, sobre una base que contenga líneas de solera, cierre y edificación del anteproyecto vial. En ésta se incluirá el trazado y características de: cámaras, colectores y sumideros existentes que se mantienen; cámaras y colectores que quedan fuera de servicio; cámaras, colectores y sumideros que se proyectan o modifican. La simbología a usar en la expresión gráfica de estas características se muestra en Tablas 11.1.1 (11) y (111).

**b) Perfil longitudinal.** En caso de mortificarse el trazado de uno o más colectores o bien de crearse uno nuevo (para evacuación de aguas de puntos bajos generados por el proyecto), se deberá presentar un perfil longitudinal de la obra correspondiente a escalas 1:500 (H) y 1:50 (V) o 1:1000 (H) y 1:100 (V). Dicho perfil contendrá todas las características geométricas del nuevo trazado tales como línea de rasante, kilometraje, cotas y alturas de cámaras, cotas de fondo del colector, pendiente del colector y longitud de los tramos. En caso de existir otros servicios subterráneos que interfieran con este nuevo trazado se deberá mostrar su ubicación en este perfil, indicando las cotas en el cruce de ambos, de manera de garantizar la factibilidad técnica de la solución.

**11.1.4.10 Red de agua potable.** La reposición de este servicio se representará sobre una lámina que contenga línea de soleras, cierros y línea de edificación del anteproyecto vial a

escala 1:500 ó 1:1000. Sobre dicha base se indicarán las características de los trazados, cámaras y grifos -existentes, modificados y nuevos- de acuerdo con la simbología mostrada en Tablas 11.1.1 (11) y (111). En caso que existan puntos singulares en los cuales se produzcan interferencias o conflictos con otras redes de servicios, se identificará dicho punto en la planta, debiéndose presentar un corte escala 1:20 en donde se demuestre, mediante los acatamientos necesarios, la factibilidad de la solución. De igual forma, se adjuntará en la misma lámina un detalle, a la misma escala, de los refuerzos que fuesen necesarios.

**11.1.4.11 Red de canales.** El anteproyecto de las modificaciones de estas redes se desarrollará, en planta y elevación, en un solo plano, o bien se incluirá en los anteproyectos de modificaciones, de alcantarillado de aguas lluvias y aguas servidas (ver 11.1.4.9), si ello es gráficamente posible.

**a) Planta.** Al igual que en los casos anteriores las modificaciones experimentadas por la red de canales, se representarán sobre un plano base que contenga línea de soleras, cierros y línea de edificación del anteproyecto vial a escala 1:500 ó 1:1000. Dicha base se complementará con las características en planta de las modificaciones de canales, sean éstos abiertos o cerrados. La información mínima a ser incluida en esta planta para el caso de canales abiertos será: sentido de escurrimiento, pretiles, pendiente de fondo, nombre de canal; y para el caso de canales cerrados será: longitud entre cámaras, sección, pendiente, sentido de escurrimiento y nombre. Las obras de arte serán representadas con: kilometraje en el punto de cruce con cada eje vial, longitud de la obra, sección, tipo de ducto y número correlativo.

**b) Elevación.** Cuando sea necesario, se presentará un perfil longitudinal de la modificación, a escala 1:500 (H) y 1:50 (Y), o bien 1:1000 (H) y 1:100 (Y), conteniendo al menos los siguientes elementos- línea de terreno y rasantes, línea de fondo y nivel de aguas en canales abiertos, línea de fondo y clave en canales cerrados, cotas de terreno, rasante y fondo de canal en puntos levantados en la topografía especial, pendientes y longitud de cada tramo, kilometraje acumulado y altura de cámaras.

**11.1.4.12 Red de electrificación, gas y teléfonos.** La reposición de estos servicios se presentará en los formatos ya especificados, manteniendo la escala y simbología de los esquemas proporcionados por la compañía respectiva, usando una base del anteproyecto vial que contenga al menos líneas de edificación, cierros y soleras definitivas.

**11.1.4.13 Estructuras.** Los diseños de Puentes, Pasos Superiores, Inferiores y otras obras de arte mayores, se presentarán mediante un Plano de Disposición General, que contendrá las vistas que se indican en las escalas que se señalan.

**a) Planta general.** , Se deberá dibujar una planta general, a escala 1.100, que contenga estribos, cepas, losas de aproximación y derrame de tierras en línea continua, y muros y fundaciones en línea segmentada, con sus dimensiones más importantes. Además deberá mostrar las características del tablero en planta, incluyendo detalles de la vialidad en línea continua, vigas en línea segmentada, y líneas de borde de cauce en caso de puentes o vialidad inferior en caso de pasos.

**b) Corte longitudinal.** (Escala 1.100). Deberá mostrar un corte por el eje longitudinal del tablero, incluyendo estribos, cepas, fundaciones, línea de tierras, kilometrajes en cantoneras, cotas, dimensiones más importantes y pendiente longitudinal del tablero.

**e) Elevaciones de estribos y cepas.** (Escala 1:100). Estas elevaciones se incluirán en la medida que el corte longitudinal no permita describir completamente las características de los estribos y las cepas.

**d) Tablero.** (Escala 1:100) Se deberá incluir un perfil transversal de tablero que destaque las dimensiones más importantes, la pendiente de bombeo, la sección y posición de las vigas, los espacios de uso peatonal y vehicular y las barandas.

e) **Especificaciones técnicas.** El plano de estructuras deberá incluir un cuadro que indique la calidad de los materiales considerados y las cubicaciones efectuadas.

**11.1.4.14 Perspectivas y maquetas.** En aquellos casos en que las soluciones propuestas signifiquen importantes impactos urbanísticos y ambientales, principalmente por la alteración de la espacialidad de la zona objeto de estudio (ejemplo: pasos sobre nivel en zonas residenciales o en puntos con vistas privilegiadas), el supervisor del estudio podrá exigir perspectivas y/o maquetas que permitan visualizar tales impactos.

## **REFERENCIAS**

## REFERENCIAS

**AIKCELIK, R.** (1986) SIDRA versión 2.2 Input and Output. **ARRB Technical Manual ATM 19**, Australia.

**AKCELIK9 R.** (1987) SIDRA-2: a general introduction. En: Introduction to SIDRA- 2 for signal design: 13th ARRB Conference Workshop papers and discussions. **ARRI3 Research lleport ARR 148**, Australia.

**ALDEA, A. y DIAZ, H.** (1987) TRANSYT-8C: una versión orientada a la evaluación económica según metodología nacional. **Actas del Tercer Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**, Universidad de Concepción, 18-20 Noviembre 1987, Concepción.

**ALLSOP R.E.** (1975) Computer program SIGCAP for assessing the traffic capacity of signal-controlled road junctions: description and Manual for users. Working Paper N' 11, Transport Operations Research Group, University of Newcastle upon Tyne.

**ARBOLEDA G.** (1985) **Cálculo del Ruido Producido por el Tráfico** (traducción al español de Calculation of Road Traffle Noise, HMSO). Instituto de Vías, Universidad del Cauca, Popayán.

**BARRIENTOS, R.** (1988) Análisis del tiempo de cielo óptimo en redes de semáforos. Memoria de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

**BOWYER, D. P.v ANCELIK, R. y BIGGS, D.C.** (1985) Guide to fuel consumption analyses for urban traffic management. AURB Special Report SR32, Australia.

**COEYMANS, J.E.** (1986) Evaluación de sistemas de control de tráfico: consideraciones metodológica y prácticas. **Actas IV Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte**. Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte, 1-4 Diciembre 1986, Santiago.

**COEYMANS, J.E. y NEELY, C.** (1984) Parámetros fundamentales de tráfico en el caso de Santiago. **Apuntes de Ingeniería, Vol. 15, 85-113.**

**COEYMANS, J.E. NOVOA, H. y WILLUMSEN., L.** (1987) Simulación de buses en ejes semaforizados. **Actas del Tercer Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte.** Universidad de Concepción 18-20 Noviembre 1987, Concepción.

**COMISION DE TRANSPORTE URBANO** (1981) **Jerarquización de la red vial.** Santiago

**COMISION DE TRANSPORTE URBANO** (1982) **Metodología para Evaluación Social de Proyectos de inversión en Vialidad Urbana.** Santiago.

**COMISION NACIONAL DE ENERGIA** (1988) Comunicación privada.

**DEPARTMENT OF TRANSPORT** (1985): Capacities, queues- and delays at road junctions (ARCADY 2 and PICADY 2). **Note DTP-TA 44/85,** Londres.

**EPA** (1975) **Compilation of Air Pollutant Emission Factors.** Environment Protection Agency, Washington.

**FRATAR T.J.** (1954) Forecasting distribution of inter-zonal vehicular trips by successive approximations. **Proceedings. Highway Research Board Vol. 33,** Washington, D.C.

**GALVEZ, T. y MARTINEZ, F.** (1984) Flujos de saturación en la zona céntrica de Santiago. Actas del Primer Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte. Universidad de Chile, 7-9 Mayo 1984, Santiago.

**GIBSON, J.** (1981) Síntesis del método de periodización. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile (nota no publicada).

**GIBSON, J., FARAH, M. Y ERAZO, R.** (1985) Problemas en la representación del tráfico mixto en el modelo SATURN. **Actas del Segundo Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte.** Pontificia Universidad Católica de Chile, 12-14 Noviembre 1985, Santiago.

**GIBSON, J., SAAVEDRA, A. Y SPOERER, J.P.** (1982) Metodología para la programación de redes de semáforos de tiempos prefijados. Publicación ST-INV/01/82, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

**GIBSON J. Y WITYK, M.** (1988) Especificación y comparación de modelos de dispersión del tráfico para técnicas de simulación basadas en histogramas cíclicos de flujo. **Actas del V Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte.** Universidad de Puerto Rico, 18-21 Julio 1988, Mayagüez.

**GONZALEZ, S.** (1986) La investigación en accidentes en el tráfico: marco teórico y análisis del caso chileno. **Actas del IV Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte.** Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte, 1-4 Diciembre 1986, Santiago.

**GONZALEZ, S. Y TAPIA, L.A.** (1987) Costos de accidentes en el tránsito. **Actas del Tercer Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte.** Universidad de Concepción, 18-20 Noviembre 1987, Concepción.

**GONZALEZ, S., VALENZUELA, H. Y JOFRE, F.** (1985) Análisis del impacto de medidas de gestión de tránsito en la ocurrencia de accidentes en el tránsito. **Actas del Segundo Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte.** Pontificia Universidad Católica de Chile, 12-14 Noviembre 1985, Santiago.

**HADJES, V.** (1989) Tratamiento de la variabilidad temporal del flujo en la evaluación de proyectos de vialidad urbana. Memoria de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Santiago.

**HOTHERSALL, O. Y SALTER, R.J.** (1987) **Transport and the Environment.** Crosby Lockwood Staples, Londres.

**IASA** (1981) Estudio de impuestos a la emisión de contaminantes de aire y agua en la Región Metropolitana. Informe Final a la Intendencia de la Región Metropolitana, Santiago.

**LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD** (1985) Curso de Laboratorista Vial. Ministerio de Obras Públicas, Santiago.

**LOGIE D.M.W. Y DAWSON, J.A.L.** (1981) **TRAFFICQ: a design aid for traffic management.** MVA Systematica, Londres.

**MARGLIN, S.A.** (1967) **Approaches to Dynamic Investment Planning.** North Holland, Amsterdam.

**McDONALD, M., HOUNSELI, N. Y KIMBER, R.M.** (1984) Geometric delay at non-signalised intersections. **Report SR 810, TRRL,** Crowthorne.

**MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS.** Manual de Carreteras. Santiago.

**MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES** (1983) Manual de Señalización de Tránsito. Santiago.

**MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES.** (1986) Anuario Estadístico de Transporte. Santiago.

**MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO** (1983) **Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana.** Santiago.

**ROSS, P. Y GIBSON, J.** (1987) Comparación experimental del control dinámico y por planes prefijados de una red de semáforos en el centro de Santiago. **Actas del Tercer Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte.** Universidad de Concepción, 18-20 Noviembre 1987, Concepción.

**SACTRA** (1986) **Urban Road Appraisal.** HMSO, Londres.

**SALTER, R.J.** (1975) **Highway Traffic Analysis and Design.** The MacMillan Press, Londres.

**TAYLOR, M.A.P.** (1984) Traffic survey methods Department of Civil Engineering, Monash University, Australia,

**VAN VLIET, D.** (1982) SATURN: a modern assignment model. **Traffic Engineering and Control, Vol. 23,** N° 12,578-581.

**VINCENT, R.A., MITCHELL A.I. y ROBERTSON, D.I.** (1980) User guide to TRANSYT version 8. - Peport LR 388 TRRL, Crowthorne.

**WEBSTER, F.V. y COBBE, B.M.** (1966) Traffic signals. **Road Research Technical Paper 56,** HMSO, Londres.

**WONNACOTT, T.H. y WONNACOTT, R.J.** (1984) Introductory Statistics . for Bussiness and Economics. John Wiley and Sons, Singapur.