

8 MODELO DE TRANSPORTE SUB-URBANO

8.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describe la metodología empleada para construir y calibrar un modelo de asignación vehicular, que permita representar la movilidad de flujos en la red vial del Corredor Central de la V Región. La obtención de dicho modelo involucra la aplicación de una serie de algoritmos, y la adopción de variados criterios, de tal manera de conseguir una representación razonable de la operación de la red, el volumen de flujo, la estructura de viajes, las rutas utilizadas y los costos de viaje involucrados.

Se debe mencionar que la modelación de la red en el presente estudio se realiza en plataforma computacional EMME/2, software que posee amplias facilidades para la incorporación de diversos algoritmos y criterios de modelación, en particular los que se utilizan en este estudio. Por otro lado, la modelación de transporte en EMME/2 ha sido apoyada con el uso de una base de datos SIG en formato Arcview, lo que permite una visualización mas directa y nítida de la red modelada con su entorno geográfico; y que alimenta en forma directa algunos datos requeridos por el modelo de transporte, tales como los atributos de los arcos, y la ubicación exacta de los hitos de la red.

En la Figura N° 8.1-1 se observa un esquema que representa como se han estructurado las bases de datos, y su relación entre sí y con las respectivas fuentes de información. Por otro lado, en la Figura N° 8.1-2 se presenta un diagrama de flujo global del proceso de modelación de la red interurbana.

FIGURA N° 8.1-1
RELACIÓN DE LOS DATOS

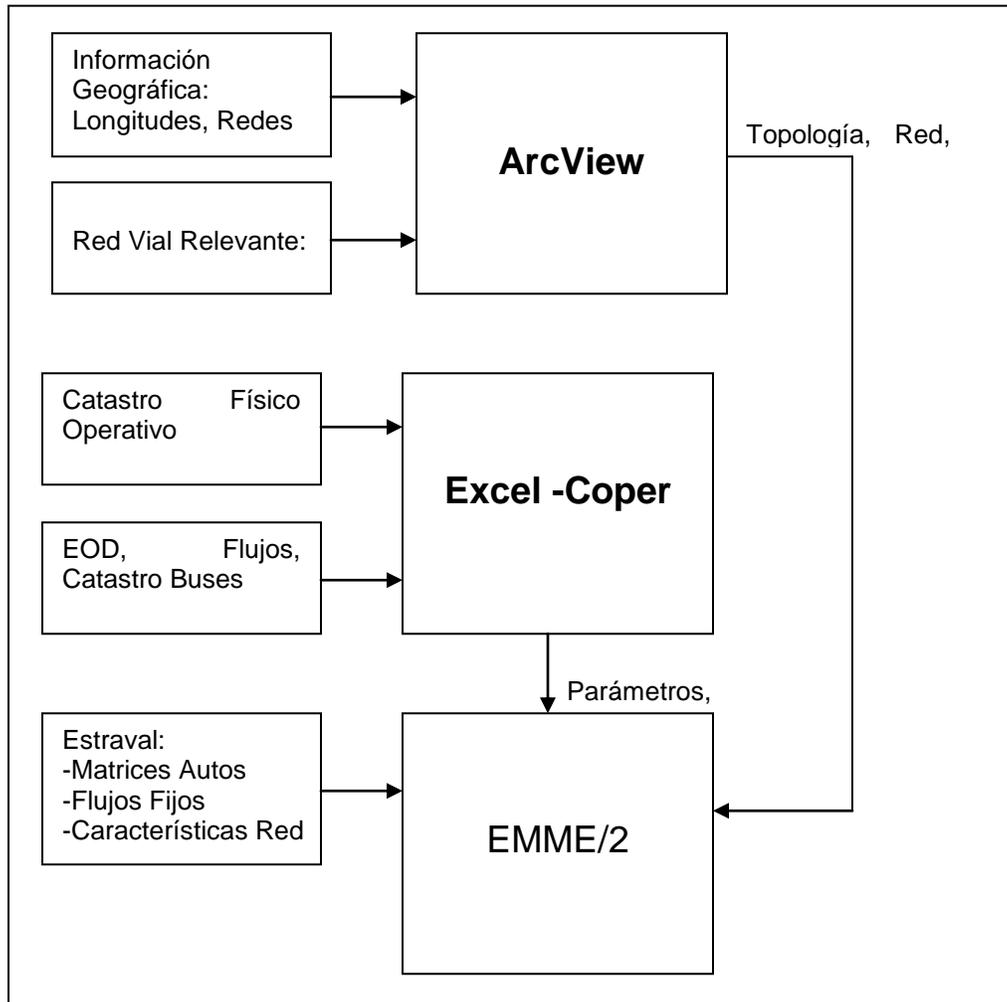
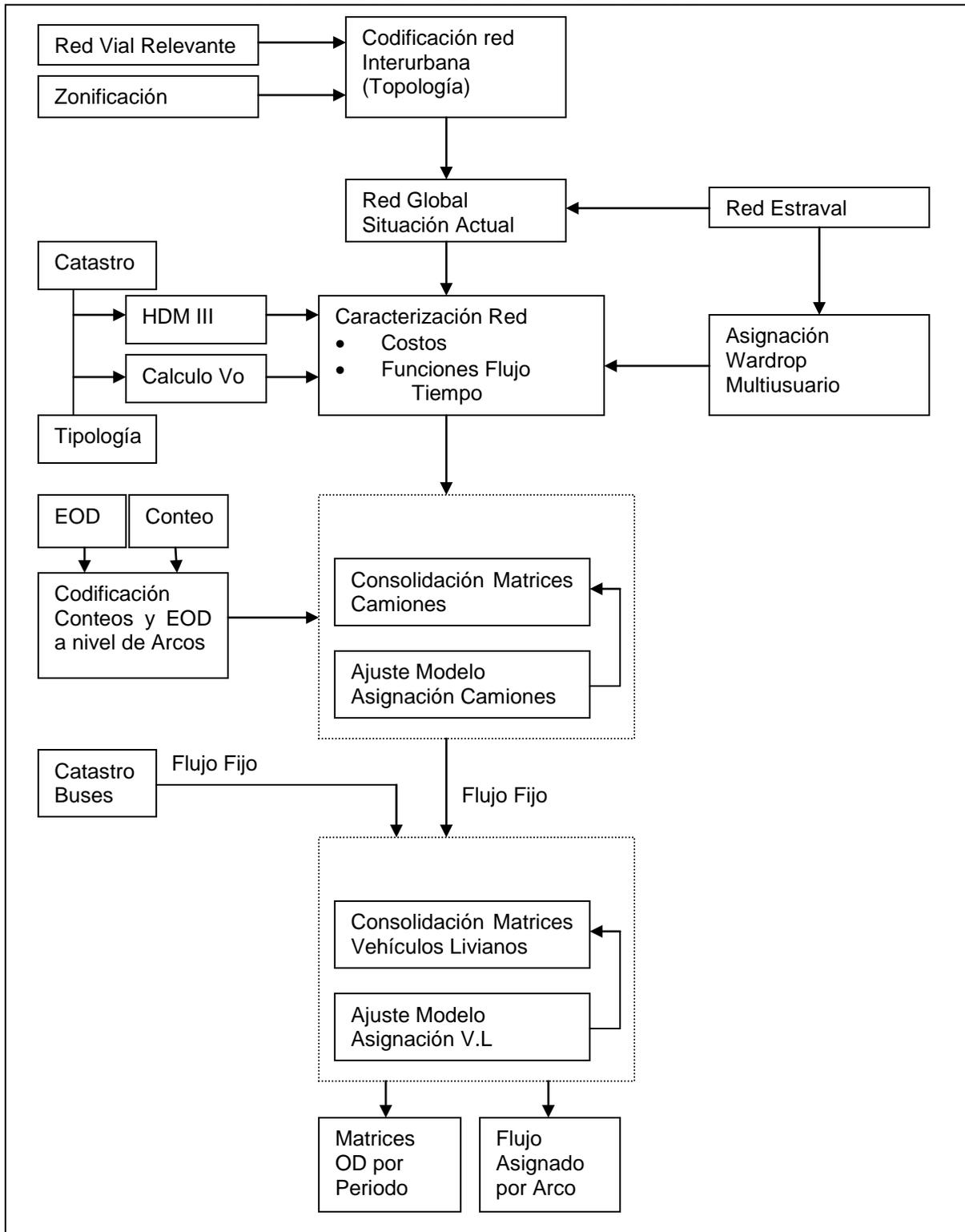


FIGURA N° 8.1-2
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE MODELACIÓN



8.2 CODIFICACIÓN RED DE MODELACIÓN

8.2.1 TOPOLOGÍA

La codificación de la red del área bajo estudio se realizó en formato EMME/2, de manera de representar en una red la zonificación, la red vial relevante y las características definidas en el capítulo *Definiciones Básicas*. Para realizar la codificación se empleó el tradicional criterio de representar las vías mediante arcos (unidireccionales), y los hitos mediante nodos. Para el caso interurbano, los hitos que se consideraron en la definición de los nodos son principalmente:

- Intersección de 2 vías.
- Para separar una ruta en tramos con diverso estándar, y/o categoría.
- Para representar cruces de mayor complejidad, los diversos accesos se identifican con arcos diferenciados.
- Para representar accesos a autopistas y a zonas.

Dado que EMME/2 es un software interactivo gráfico, requiere de la definición de un sistema de coordenadas para incorporar los nodos y centroides. Dicho sistema no necesariamente debe ser exacto, ya que se utiliza sólo para representaciones gráficas en la pantalla, y las características de los arcos (longitud de los arcos) se incorporan en forma independiente al modelo. De esta manera se definieron las coordenadas planas referenciales para todos los nodos que conforman la red suburbana, a partir de la información del Sistema GIS implementado en Arcview.

En las Figura N° 8.2-1 y Figura N° 8.2-2 se presenta un esquema con el grafo de la red de modelación interurbana en formato EMME/2, en distintas escalas.

FIGURA N° 8.2-1
GRAFO DE MODELACIÓN RED INTERURBANA

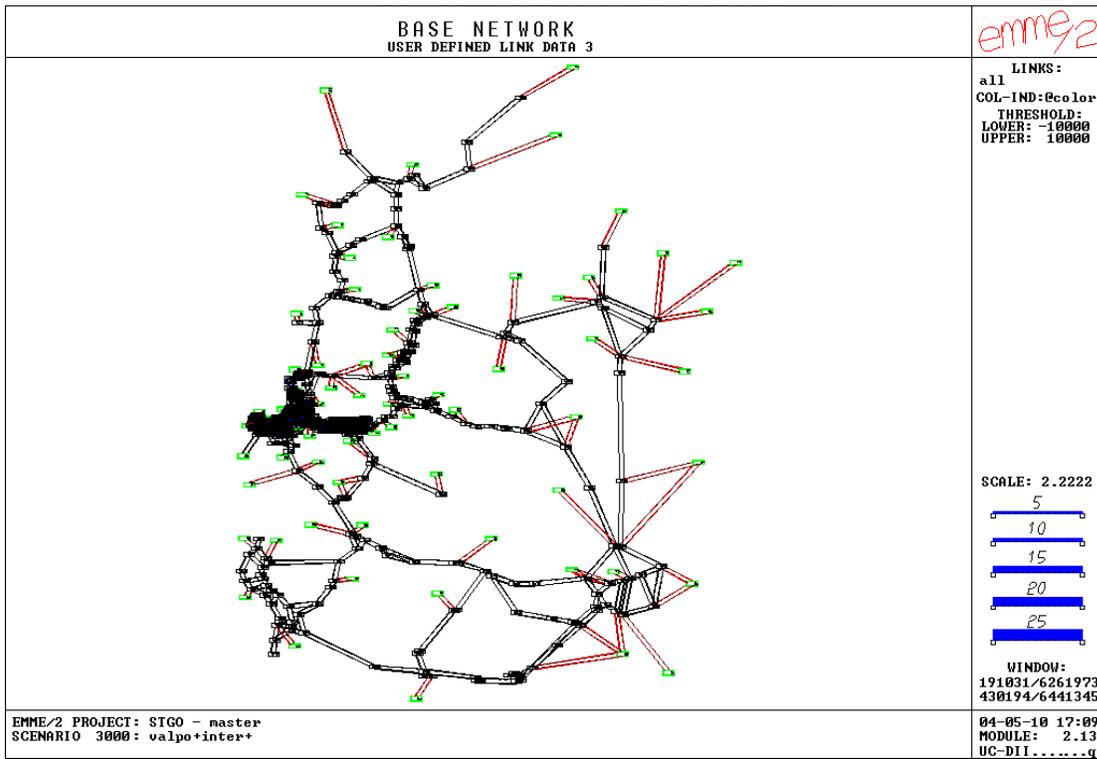
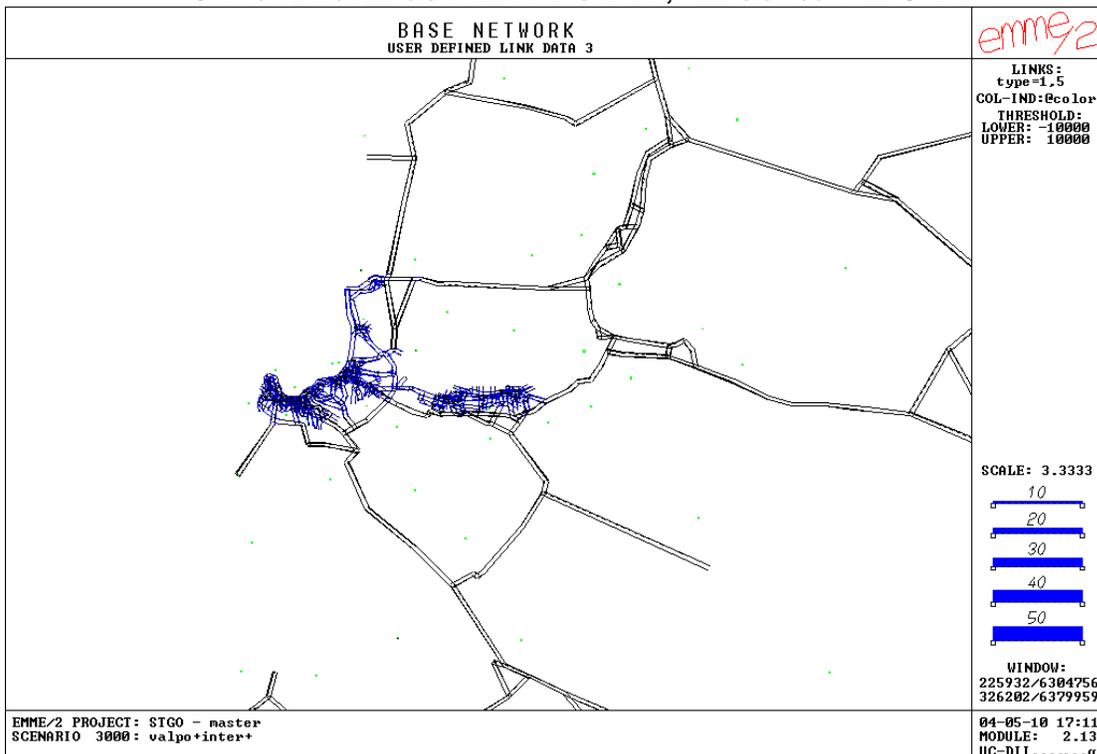


FIGURA N° 8.2-2
GRAFO DE MODELACIÓN RED INTERURBANA, RELACIÓN CON RED URBANA



8.2.2 ESTRUCTURACIÓN BANCO DE DATOS EMME/2

Para trabajar con la red de modelación codificada, se requiere estructurar un banco de datos denominado *emme2bank*, dentro del cual se podrá incorporar la red codificada. En efecto, EMME/2 requiere la definición un banco de datos de trabajo interactivo, el que se denomina “*emme2ban*”, dentro del cual se crean una serie de escenarios, asociadas a las distintas redes que se requiera modelar. De esta manera, cada escenario está asociado a una red de modelación particular.

Por otro lado, EMME/2 permite un tratamiento de tipo multimodal en cada red perteneciente al banco de datos. Es así como es posible estipular mediante una codificación especial los modos autorizados a circular, para cada uno de los arcos de la red.

Estas características son especialmente útiles para trabajar con redes en la cual confluyen modos que operan con características propias. Por ejemplo para trabajar con redes en las que circulan autos, buses, camiones simples y camiones pesados, existen al menos dos alternativas de modelación:

- Definir un escenario único, utilizando una red multimodal, y asignando códigos a cada uno de los modos (tipos de vehículos) reasignables en la red, vale decir vehículos livianos (1), camiones simples (2) y camiones pesados (3). De esta manera la asignación se realizaría en forma conjunta con criterio multiusuarios.
- Definir distintos escenarios para cada uno de los modos reasignables, y realizar una asignación del tipo monousuario en cada uno de ellos.

Para la red modelada se utiliza una estructura que combina las dos alternativas descritas, vale decir se crean tres escenarios, el primero de los cuales estará asociado a la red de camiones simples y el segundo a la red de camiones pesados. Un tercer escenario es de carácter multimodal y multiusuario, ya que alberga las simulaciones a realizar para los viajes en auto de carácter suburbano e interurbano.

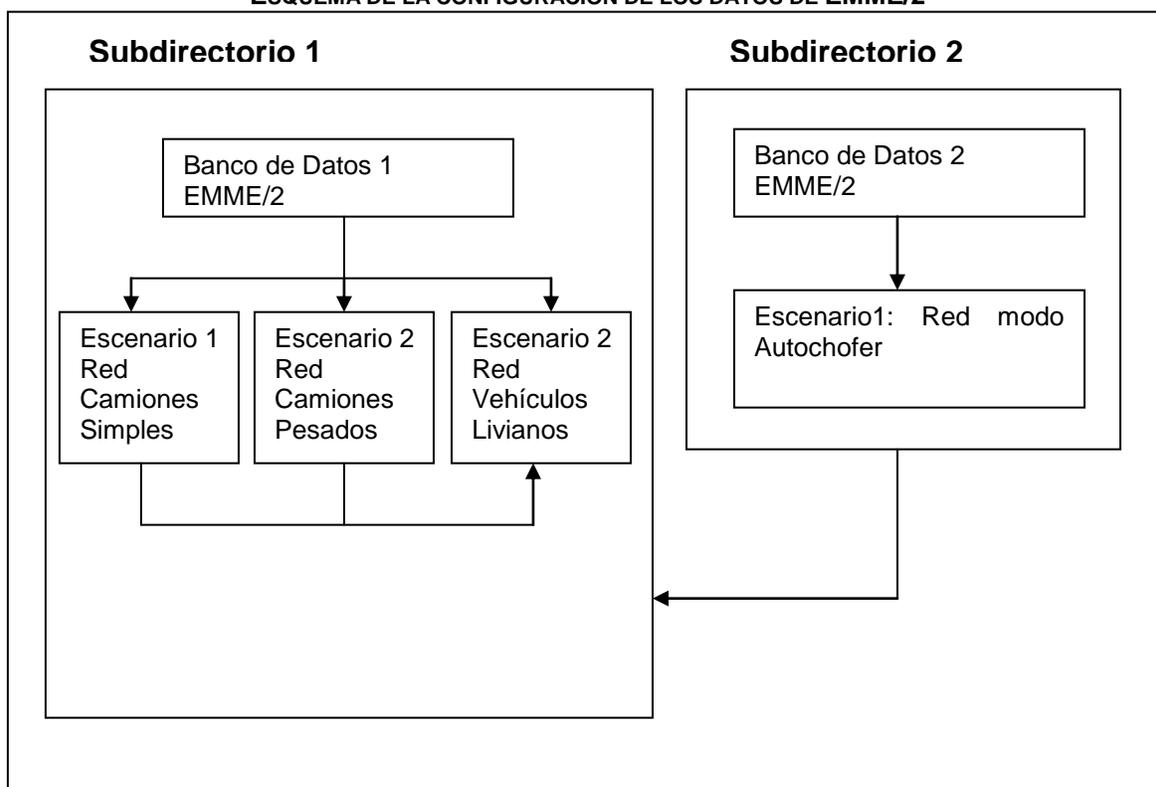
En cada uno de los escenarios es posible considerar un parámetro de flujo fijo, el cual incluye los resultados de flujos equivalentes asignados en los otros escenarios, más los flujos fijos de modos no reasignables, como es el caso de los buses.

La característica multiusuario del tercer escenario está asociada al tratamiento de los vehículos livianos, ya la demanda de usuarios suburbano ha sido desagregada por tipo de usuario según su rango de ingreso.

Por definición, EMME/2 posee una estructura que no permite incluir dentro de un mismo banco de datos, redes con distinta dimensión espacial (zonificación). Sin embargo, en el presente caso se tiene que la red de asignación urbana asociada a Estraval consta de una representación espacial en base a 179 zonas de carácter urbano (desagregación a nivel distrital), y un área interurbana tratada en forma agregada a través de 10 zonas externas. Por otro lado, la red interurbana desarrollada en el presente estudio está formada por 76 zonas (subdivisión comunal y distrital según el caso), dentro de las cuales, 10 zonas corresponden a la subdivisión agregada de la conurbación de Valparaíso (zona urbana).

Luego, se decidió estructurar dos bancos de datos separados, uno para la red urbana, y otro para la interurbana, cada uno caracterizado por su propia estructura espacial (zonificación y matrices). La Figura N° 8.2-3 presenta un esquema con la configuración final de los bancos de datos EMME/2.

FIGURA N° 8.2-3
ESQUEMA DE LA CONFIGURACIÓN DE LOS DATOS DE EMME/2



Como se aprecia, el Banco de Datos 1 (Interurbano) posee 3 escenarios, cada uno asociado a un modo reasignable. En cada uno de estos escenarios se incorpora una red global, conformada por una red interurbana propiamente tal, a la cual se le adiciona la red urbana representativa de la conurbación de Valparaíso. La estructura espacial de estas redes consta de 76 zonas, dentro de las cuales 10 zonas representan la conurbación de Valparaíso a nivel agregado, con lo cual se mantiene una escala coherente con respecto a la zonificación urbana.

Por otro lado, el Banco de Datos 2 (urbano) esta compuesto por un escenario que posee la red urbana de la Conurbación de Valparaíso, con una zonificación a nivel urbano de 179 zonas, y 10 zonas externas que representan los viajes externos (interurbano). Esta red permite realizar asignaciones vehiculares con matrices fijas (provenientes de Estraval), y obtener tiempos de viajes y flujos en los arcos urbanos, con lo cual se alimenta de información a la subred urbana del Banco de Datos 1.

8.2.3 CARACTERIZACIÓN

En esta etapa se incorporan las características de los arcos que permitan modelar los costos de viaje y las funciones de flujo-velocidad a través de la red definida. Dado que el objetivo es representar la asignación de viajes, se definieron los atributos de los arcos que son relevantes para las decisiones de los distintos usuarios de la red, los que no necesariamente coinciden las componentes del consumo real de costos. Dichos atributos y su valoración, son extraídos de los estudios de preferencias, que en el caso del presente estudio no fueron realizados como parte de los Estudios de Base, y fueron escogidos de las fuentes de información existentes.

En este sentido, las características han sido definidas en la etapa de definiciones básicas, y corresponden a los requeridos para definir los costos de operación (mediante el modelo Coper), las funciones de flujo-velocidad y los valores subjetivos del tiempo.

En anexo magnético se presenta una planilla excel que contiene para cada arco de la red las características que permiten calcular los tiempos y costos de modelación necesarios para la asignación vehicular. Lo anterior incluye a los arcos de la red urbana Estraval, que en este caso quedan representados por tiempos fijos de viaje, y costos de operación urbanos.

a) Funciones Flujo-Velocidad

En el presente estudio no se estipula calibrar funciones de flujo-velocidad y se ha optado por utilizar las especificaciones calibradas en el estudio de Ingeniería de Tránsito para la Concesión de la Ruta 60CH, clasificando los arcos en función de sus características físicas y operativas.

La definición de las funciones flujo-velocidad se encuentran en el capítulo de Antecedentes de transporte.

b) Funciones de Costo

Los consumos operacionales de los vehículos son relevantes en el criterio de asignación, especialmente en el caso de asignación de camiones.

Para el cálculo de los costos operacionales de los arcos que componen la red de modelación, se ha utilizado el modelo HDM-III, particularmente en el caso de arcos de carácter interurbano.

Alternativamente, en el caso urbano se estimaron los costos utilizando las expresiones definidas para el programa Orrego (Sectra, 2000). Se considera particularmente importante los supuestos que se realicen para el caso urbano, debido a que gran parte de la red de modelación está incluida en la trama urbana de la conurbación Valparaíso.

Para el caso de la asignación, se escogen aquellas componentes del costo que se especifiquen en la estimación de las funciones de utilidad, mientras que en la evaluación económica, se utilizarán todos los consumos obtenidos de los modelos HDM-III y Orrego.

c) Funciones de Utilidad

La modelación de la asignación de viajes en el sector interurbano de la red vial requiere contar con una medida apropiada de la disposición a pagar de los usuarios de la vialidad. Para obtener esta expresión es preciso recurrir a la estimación de modelos de elección de ruta basados en datos de preferencias reveladas o declaradas, o bien obtenerla de estimaciones previas realizadas en el sector bajo estudio. En este caso se ha decidido utilizar los valores de la función de utilidad calibrados en el estudio para la concesión de la Ruta 60-Ch. Dichos valores se presentan en el siguiente cuadro.

CUADRO Nº 8.2-1
VALORES DEL TIEMPO ADOPTADOS

Valor del Tiempo Calzada Doble (\$/min)	
Estrato	
+ Bajo	36
+ Medio	42
+ Alto	119
Factor en relación a calzada doble	
Calzada Simple	1.5
Calzada Urbana	1.8
Camino de Tierra	2.5
Camino en cuesta	3.6

8.3 METODOLOGÍA DE ASIGNACIÓN, MODOS REASIGNABLES.

En este punto se describe los procedimientos que involucrarán la elaboración del modelo de asignación vehicular. Los hitos más relevantes corresponden a la estimación de matrices de viaje para cada modo relevante involucrado, desagregadas por período; y a la calibración de un modelo de asignación vehicular. Este modelo de asignación incluye la especificación de costos más adecuada al comportamiento de los usuarios de la red, la cual esta caracterizada por las funciones de elección rutal escogidas. Por otro lado, se debe utilizar un criterio adecuado para la asignación, para cada modo y usuario de la red suburbana. En este sentido, se plantea inicialmente la calibración de un modelo de carácter estocástico para los modos reasignables auto y camión, por varias razones entre las cuales se cuenta:

- La diversidad de las rutas (en cuanto a tiempo de viaje, tarifas, estado del camino, etc.) hace que en general en este tipo de redes los usuarios de cierto par O/D opten por diversas rutas para circular por la red, aún en casos de congestión media o baja.
- Si la función de costo plantea un comportamiento del tipo aleatorio, es coherente plantear que la asignación tiene una componente aleatoria.
- En una red de distancias de viajes mayores a las urbanas, los costos operacionales y los peajes comienzan a tener un peso tan importante como los tiempos de viaje, y dado que no todos los usuarios perciben la combinación de atributos de la misma manera, es que se requiere incorporar la componente aleatoria en la asignación rutal.

Además, se plantea un procedimiento de consolidación de matrices y asignación conjunta, con lo cual se desea resolver los problemas que presentan los métodos tradicionales de cálculo de matrices a priori, con respecto a la asignación vehicular, los cuales son realizados en forma separada.

Para el caso de los buses, se plantea calibrar un modelo de asignación de pasajeros a una red conformada por el conjunto de líneas que ofrece sus servicios en el sector. Para esto, se considerará un criterio de asignación de tipo determinístico, y la estimación de una matriz inicial a partir de las encuestas origen destino.

8.3.1 CRITERIOS BÁSICOS

Cada modo relevante de la red posee una determinada función de costos de viajes percibidos en la red, y se le asocia además una cierta desagregación por categoría, y un criterio de asignación en forma particular.

Para el caso del modo camiones el costo de viaje percibido por el usuario se modelará como la suma directa de los costos totales (descontando la depreciación) y de peajes, ya que según la experiencia de estudios de esta naturaleza, los usuarios de camiones no perciben el tiempo de viaje como un atributo relevante en sus decisiones rutales. La desagregación por categorías consiste en este caso en separar los camiones en “livianos” (2 ejes) y “pesados” (más de 2 ejes). Las razones para hacerlo es que los consumos para ambas categorías son muy distintos, y por otro lado, cada categoría tiene distinto acceso a la red. De hecho, los camiones pesados acceden sólo a una subred de la red total considerada, y este hecho forma parte de los criterios de calibración.

La asignación del modo camiones, para ambas categorías, se realizará con un criterio estocástico, principalmente por el hecho de que se considera un error en la percepción de los costos de viaje por parte de los usuarios de la red, lo que hace que las elecciones rutales no necesariamente se realicen por las rutas de menor costo absoluto, y que algunos usuarios escojan otras rutas de costo más alto. Una gran incidencia en este fenómeno la tiene la presencia de vías tarifcadas en la red.

Para los Vehículos livianos, el costo de viaje en los arcos se modela como una combinación de tiempo de viaje y tarifa. La ligazón entre ambas variables se realiza mediante la ponderación del tiempo de viaje en los arcos por el valor subjetivo del tiempo VST y por un factor que representa el “desagrado” de utilizar vías de bajo estándar, como un símil del costo de operación, el costo y el tiempo utilizado incluye los costos y tiempos de viaje observados en el area urbana en caso de que parte del viaje sea sobre esta red.

La desagregación para automóviles, en forma consecuente con la estructura de los VST, se determina a partir de rangos de ingreso del usuario de automóvil. En este caso se definen 3 rangos de ingreso, y por lo tanto 3 categorías de usuarios. Se ha decidido utilizar un criterio de asignación estocástico para los vehículos livianos, por las mismas razones expuestas para el caso de camiones.

Así, las funciones de costo a utilizar se describen a continuación:

Vehículos Livianos:

$$C_a^m = f^c * VST^m * t_a + T_a \quad (8.3-1)$$

Camiones:

$$C_a^m = p_m \cdot CC^{cm} \cdot L_a + T_a \quad (8.3-2)$$

donde:

C_a^m : Costo medio en el arco a para el tipo de usuario m

f^c : Factor de corrección del VST por categoría de arco

VST^m : Valor del tiempo usuario m

t_a : Tiempo de viaje en el arco a

T_a : Tarifa o Peaje en el arco a

CC^{cm} : Costos totales de operación (combustible, lubricantes, neumáticos y mano de obra) por unidad longitud para usuario m

L_a : Longitud arco a

p_m : Ponderador asociado al costo de operación para el usuario tipo m . En este caso se considera un valor 1.0.

Como se aprecia, la expresión de la función de costo para cada modo, es el resultado de la combinación de los atributos definidos en la caracterización de los arcos de la red (ver punto anterior).

8.3.2 PLANTEAMIENTO DEL CRITERIO DE ASIGNACIÓN ESTOCÁSTICO

Para el caso chileno, las alternativas de asignación estándares ofrecidas por EMME/2 para la asignación de redes interurbanas y/o suburbanas no representan en su totalidad el comportamiento de los usuarios. En efecto, la tendencia en los últimos estudios es representar el fenómeno de asignación a las redes como un proceso de elección discreta, en el que los usuarios deciden que alternativa utilizar, en función de los atributos de cada ruta disponible y de sus propias características (nivel socioeconómico o tipo de vehículo).

Por la razón anterior, el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile desarrolló para el MOP en el año 1999, un programa en EMME/2 (macro) denominado ME1.mac. Dicho programa utiliza el criterio de “equilibrio estocástico”, desarrollado por Sheffi y Daganzo (1977). Por otro lado, la implementación del algoritmo de asignación mencionado está íntimamente ligado al proceso de consolidación de matrices utilizando el criterio de “Máxima Verosimilitud”, ya que ME1.mac ha sido programado para que genere en una corrida las matrices de proporciones P_{ij}^a requeridas para la consolidación y el ajuste.

A continuación se describe en detalle el desarrollo del procedimiento planteado.

a) Asignación Multiusuarios

Para trabajar dentro de un mismo escenario con categorías de usuarios que perciben en forma diferente los atributos de las funciones de costo, Emme/2 ha implementado un algoritmo de asignación de equilibrio multiclases. Este asume que el costo en cierto arco a percibido por un usuario de clase m puede ser definido como:

$$C_a^m(V_a) = C(V_a) + b_a^m$$

Lo anterior implica que las diferentes clases están todas sujetas al mismo efecto de percepción del costo (función del flujo en el arco), pero cada clase de usuario percibe una diferente constante dado por b_a^m . Se puede mostrar que esta asignación de equilibrio de multiclases simplificado es equivalente a resolver el siguiente problema de optimización convexa:

$$\text{Min} \sum_{a \in A} \int_0^{V_a} C_a(V) d_v + \sum_{m \in M} \sum_{a \in A} c_a^m b_a^m$$

sujeto a las usuales restricciones de conservación de flujos.

Un caso especial, se produce cuando la constante b_a^m toma los valores 0 ó infinito para todos los arcos de la red y todas las clases m . Esto implica las clases del arco a con constante nula perciben el mismo costo y pueden circular por el arco, mientras que las clases del arco a con constante infinito están impedidas de circular por él. Utilizando esta idea, es que en Emme/2 se han implementado las opciones multimodal y multiclase, descritas anteriormente

Para vehículos livianos, el primer término de la expresión anterior se utiliza para representar el tiempo de viaje, mientras que en el segundo término se incluye los costos de operación y la tarifa del arco (si la hay), en unidades de minutos (b_a^m corresponde al inverso del valor subjetivo del tiempo para la categoría m). Para los camiones, el primer término corresponde al costo de operación en el arco, siendo el segundo término la tarifa. Posteriormente, el segundo término será utilizado además para incluir la perturbación en el costo, propio de la asignación estocástica.

b) Asignación estocástica

Los algoritmos de asignación de equilibrio, basados en el Primer Principio de Wardrop consideran que todas las rutas escogidas por los usuarios para viajar entre un determinado par origen-destino presentan un costo igual y aquellas de costo superior no son utilizadas. En este proceso la gestión juega un rol preponderante al determinar la ruta de costo mínimo.

Sin embargo, en el caso interurbano, donde el grado de congestión es más bien bajo, la asignación resultante corresponde usualmente a una del tipo “todo o nada”, vale decir, todo el flujo producido por un par O/D es asignado a la ruta de costos mínimo. Esto resulta ser particularmente problemático en una red interurbana con muchas rutas alternativas, como es el caso del presente estudio, puesto que una cantidad significativa de arcos con flujo observado en la realidad, resultan sin flujo en el modelo.

Una forma de resolver este problema es aplicar el procedimiento conocido como asignación estocástica. En ésta se asume que los usuarios de un mismo par O/D perciben en forma distinta los costos de viajar por cada una de las rutas alternativas en dicho par. De esta forma, estos viajeros se asignan a distintas rutas de las que sirven al par O/D.

Existen básicamente tres enfoques para resolver este problema: los métodos en simulación, los basados en asignación proporcional y los de asignación de equilibrio estocástica.

- **Métodos de Simulación:** Estos métodos consisten en una serie de n asignaciones determinísticas, tipos todo-nada, independientes entre sí. Cada uno de ellas se realiza con un valor de costo generado aleatoriamente, de acuerdo a una distribución preespecificada y con una media igual al costo medio en el arco. El flujo final determinado es el promedio de los flujos de cada una de las n asignaciones determinísticas.
- **Métodos de Asignación Proporcional:** En estos métodos se asignan todos los viajes que llegan a un nodo a cada uno de los arcos de salida del nodo, la regla de asignación más usual es una expresión Logit, basada en los costos de diseño de los arcos y en un parámetro de ajuste. El más conocido de estos métodos es el de Dial. Estos métodos adolecen del problema conocido como “de las alternativas irrelevantes”, propios de la regla de elección de Luce. Para evitar estos problemas se usa alternativamente un Logit del tipo jerárquico. El modelo Marted usa precisamente este mecanismo de asignación.
- **Método Estocástico de Equilibrio de Usuarios:** Este método fue desarrollado por Daganzo y Sheffi (1977), e involucra la consideración de ambos fenómenos de la asignación: congestión y diferencias en la percepción de costos. En la práctica este es un método estocástico (por ejemplo de simulación) iterativo, en el que en cada iteración se realiza una simulación. Con los flujos de esta simulación se calculan nuevos flujos en los arcos mediante el método de

promedios sucesivos, y con dichos flujos se procede a realizar una nueva simulación. El algoritmo finaliza cuando se satisface el criterio de ajuste adoptado por el modelador. La dificultad de este método estriba en que se puede necesitar una cantidad muy grande de iteraciones, particularmente si la red es muy congestionada, tal es el caso de redes urbanas.

Se propone utilizar el método Estocástico de Equilibrio de Usuarios, programado en EMME/2 (ME1.mac), cuyo algoritmo se describe a continuación.

Algoritmo Asignación Estocástica, ME.mac (multiusuario):

Paso 0: Inicialización. Realización de una carga estocástica en la red, basada en un conjunto inicial de tiempos (costos) de viaje (t_a^0). Esto genera un conjunto de flujos en arcos (x_a^{m1}). definir $n=1$

Paso 1: Actualización de tiempos (costos). Calcular $t_a^n = t_a(x_a^n)$, para todo a arco de la red. Con

$$x_a^n = \sum_m x_a^m$$

Paso 2: Búsqueda de Dirección. Realizar una carga estocástica en la red basada en los tiempos (costos) de viaje actualizados (t_a^n). Esto conduce a una solución auxiliar de flujos (y_a^{mn})

Paso 3: Actualización de Flujos, mediante la siguiente relación:



Paso 4: Criterio de Convergencia: Si se obtiene la convergencia deseada, entonces detenerse. Si no, $n=n+1$ y volver al Paso 1.

Se debe notar que el paso 1 difiere dependiendo de la especificación adoptada para la curva flujo demora. En aquellos casos en que el tiempo de viaje depende además del flujo en el sentido de circulación, del flujo en otros arcos, el cálculo del tiempo de viaje debe ser realizado empleando los flujos resultantes de la iteración anterior. Esto sucede en la modelación de vehículos livianos, puesto que la especificación empleada en el cálculo de tiempos de viaje en calzada simple incorpora directamente el flujo en ambos sentidos de circulación.

Por otra parte, es necesario señalar que la carga estocástica en la red mencionada en el paso 2, involucra los siguientes procesos:

- Perturbar los costos en los arcos con una cierta distribución de error. En este sentido, se proponen dos alternativas:
 - Distribución Uniforme con valor medio C (costo del arco) y desviación $\alpha \cdot C$, siendo α un coeficiente de variación exógeno.
 - Distribución Normal con valor medio C (costo del arco) y varianza $\alpha \cdot C$ (en este caso α tiene unidades de costo).
- Asignar “todo o nada” con estos tiempos (costos).

El paso 1 se resuelve mediante una asignación con matriz nula y flujo fijo (f_a^n). La expresión a utilizar en la función de costo para incluir la perturbación estocástica es de la siguiente forma:

Alternativa (a):

$$C_a^i = \bar{C}_a^i (1 + \mu(2\theta_a^i - 1))$$

Alternativa (b):

$$C_a^i = \bar{C}_{ai} + \sqrt{\mu \cdot \bar{C}_{ai}} \theta_a^i$$

Donde para la alternativa (a), i indica la categoría de usuario, μ la dispersión especificada al costo (por ejemplo 20% o 30%) y θ_a^i corresponde a un número aleatorio, de distribución uniforme del tipo $U(0,1)$.

La cantidad de iteraciones es controlada mediante el siguiente criterio de convergencia en los flujos asignados:



Finalmente, la tarea consistirá en implementar el modelo de asignación estocástico descrito para la red multimodal, de tal manera de poder realizar los procesos de calibración del modelo e implementación de la situación actual, en plataforma EMME/2, para el caso de los modos reasignables auto y camión.

8.4 MODELACIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO

8.4.1 ASPECTOS GENERALES

El transporte público es un servicio de gran relevancia para los usuarios de la red estratégica bajo análisis, y por lo tanto se ha decidido incorporarlo en forma endógena en el modelo de transporte del Corredor Central. Como se ha explicado a lo largo del estudio, existen tres categorías de viaje definidas para el presente análisis: Viajes Suburbanos, Interurbanos y Urbanos. A continuación se resume como se enfrenta la modelación de transporte público en cada uno de estos casos.

- **Viajes Suburbanos:** Este tipo de viajes en transporte público de acercamiento a la conurbación Valparaíso se realizan principalmente en servicios de taxibuses, que operan entre las ciudades suburbanas (Quillota, La Calera, Quintero, etc) y Valparaíso. En este caso la modelación se realiza considerando dos aspectos:
 - Implementación de un Modelo Operacional: Este modelo se realiza para estimar los flujos vehiculares de transporte público en cada arco de la red, lo cual posteriormente se incorpora en la modelación interurbana de modos reasignables (autos, camiones) en formato de flujo fijo. Si bien las líneas se encuentran definidas al interior de la zona urbana sus flujos no son incluidos en el flujo fijo ya que se considera que las líneas que incluye el modelo Estraval incluyen el flujo de las líneas de transporte suburbano. Este modelo es útil además para calcular las variables de servicio del modo, (tiempo de viaje, tiempo de espera, tiempo de caminata), lo cual es utilizado en el modelo de demanda de viajes como atributo de viaje del modo público. El desarrollo del modelo operacional requiere definir una subred de transporte público a partir de la red de autos; e incorporar a dicha red los servicios de transporte público en formato de *líneas*.
 - Estimación de Matrices de Viaje de Pasajeros: El modelo de demanda de viajes (generación/distribución/partición modal) debe incluir la estimación de los viajes en transporte público, en unidades de pasajeros; debido a que el modelo de transporte considera la proyección de escenarios de localización de hogares y actividades que

producirán variaciones en la estructura de viajes con respecto a la situación actual, debido a la expansión del radio urbano de la conurbación Valparaíso, tanto para el caso de los viajes en automóvil, como para el uso del modo bus.

- ❑ **Viajes Interurbanos:** Estos viajes (externos con respecto al área de expansión y relacionados con segunda vivienda y viajes ocasionales) no serán tratados a nivel de pasajeros; y la proyección del flujo vehicular asociado a los buses interurbanos de larga distancia será realizada a través de la proyección directa del flujo de buses
- ❑ **Viajes Urbanos Actuales:** Tanto la operación de transporte público como las matrices de viaje por modo están resueltos por el modelo Estraval, para el escenario de red actual y los cortes temporales futuros. Esta información constituye en un dato exógeno para el modelo Corredor Central, y se incorpora en formato de tiempos fijos por arco.

El modo a incorporar en la red de transporte público a modelar corresponde al bus, para dos tipos de vehículo: Taxibus (viajes suburbanos) y Pullman (viajes interurbanos). De esta manera se descartan modos como el taxicolectivo, el cual en las muestras de flujo vehicular no se presenta como un modo con algún grado de impacto en la red interurbana y suburbana, restringiéndose su radio de acción dentro de los límites urbanos.

8.4.2 MODELO OPERACIONAL

El modelo operacional se ha implementado para representar la circulación de las líneas de servicios en el Corredor Central, de tipo suburbano e interurbano. Dado que los buses ofrecen servicio con un recorrido y una frecuencia preestablecidos, es que se ha decidido modelar la operación de este modo en el formato de *rutas fijas* a través de la red. De esta manera los buses no están afectos a decisiones de asignación de ruta, tanto en la situación actual como en las proyecciones futuras del flujo vehicular.

Las posibles variaciones del flujo de buses en los cortes temporales de fijo, tanto en cobertura como en volumen vehicular, serán tratados mediante la proyección de la variación de la frecuencia de los servicios.

a) Codificación Líneas

Con la información del Catastro de Transporte Público realizado en diferentes terminales dentro de la zona de estudio, es posible conocer las características de los servicios de buses suburbanos que circulan en el Corredor Central. Para fines de modelación los principales datos a extraer del Catastro son el recorrido y la frecuencia de salidas de cada servicio. Esta información debe ser incorporada en EMME/2 con un formato que se detalla a continuación, y que es la base para modelar los flujos de buses.

La codificación del modo bus implica definir la ruta de cada una de las líneas que aparecen en el Catastro de Transporte Público, dentro del modelo EMME/2. En este caso la ruta queda definida por una secuencia de nodos que representa el recorrido que realiza el servicio de buses a través de la red. A partir de esta información se construyó un archivo denominado *lineas.dat*, el cual contiene el itinerario de cada servicio de buses, con la siguiente estructura para cada línea identificada:

- Nombre del recorrido
- Código de identificación
- Intervalo de pasadas (inverso de la frecuencia).
- Secuencia de nodos, que representa el recorrido realizado a lo largo de la red.

Cabe mencionar que para el caso del intervalo de pasadas, se consideró como dato el valor promedio diario, extraído directamente del Catastro. Dicho valor como se verá más adelante, será ajustado para replicar con el modelo operacional, los flujos de buses observados en los puntos de conteo vehicular.

Por otro lado, es necesario definir una **red de modelación para el modo bus**. Aprovechando el carácter multimodal de EMME/2, lo que se hizo fue utilizar la red de vehículos livianos, y dentro de esta definir modos auxiliares que permitan representar las distintas etapas de un viaje en bus:

- Caminata (modo *w*): Se generaron arcos conectores entre zona y arcos de la red, de tal manera de simular el acceso de las zonas a las vías por donde transita transporte público.
- En Vehículo (modo *b*): Aquellos arcos por los cuales circula alguna línea de transporte, se codifica con un modo adicional (*b*). En este caso los arcos de tipo *b* son un subconjunto de la red de modelación de autos, por lo cual no es necesario definir nuevos arcos..

Con la red multimodal codificada de esta manera, es posible incorporar la información de los servicios de transporte público a través de las líneas codificadas en *lineas.dat*.

b) Calculo de Flujo Fijo

Con la información contenida en el archivo *lineas.dat*, EMME/2 puede calcular el flujo del modo bus para cada arco de la red, mediante la siguiente expresión.

$$qb_a = \sum_i \lambda_i \cdot \delta_{ia}$$

donde qb_a corresponde al flujo de buses en cierto arco *a*, en unidades de vehículos/día, λ_i es la frecuencia de la línea *i*, y δ_{ia} una variable que vale 1 si la línea *i* pasa por el arco *a*, y 0 en caso contrario.

Vale decir, con la información ingresada en EMME/2, se calcula el flujo vehicular del modo bus para cada arco de la red. Dichos flujos se obtienen a partir de un conjunto de líneas, caracterizadas por una ruta a lo largo de la red y una frecuencia de servicios (salidas).

c) Ajuste de Frecuencias

Con el procedimiento anteriormente descrito, se obtiene el flujo a nivel de arco para el modo bus, con lo cual queda incorporada la información de este modo en la modelación de la red, en formato de flujo fijo por arco (qb_a). Sin embargo si se comparan los flujos modelados qb_a con los flujos medidos de buses (q_k) en aquellos arcos donde se realizaron conteos vehiculares, se aprecian diferencias, las cuales pueden ser corregidas de manera que el modelo de rutas fijas pueda representar el flujo observado en la situación actual.

La metodología que se plantea a continuación, permite modificar las frecuencias iniciales del archivo *lineas.dat*, de tal manera que al aplicar la expresión Ec.8.4-1, los flujos obtenidos (ff_a) sean lo más parecido posible a los flujos medidos q_k para cada punto de medición. De esta manera se asegura que el modelo de rutas fijas representa la estructura de flujos de la situación observada.

Se considera que la frecuencia media horaria de servicios de transporte público con recorrido fijo, puede ser estimada a partir de conteos de flujos horarios, realizados en diversos puntos de la red mediante estimadores de máxima verosimilitud, aplicando el siguiente procedimiento.

Sean

λ_i el mejor estimador de frecuencia de la línea i (por determinar).

Q_k el flujo total de transporte público medido en el punto de control k .

λ_{ik} la frecuencia medida de la línea i en el punto de control k .

δ_{ik} una variable muda que toma el valor 1 si la línea i pasa por el punto k y toma el valor 0 en otro caso.

Entonces, por condiciones de continuidad debieran cumplirse la siguiente ecuación:

$$Q_k = \sum_i \lambda_i \cdot \delta_{ik}$$

Sin embargo, como es sabido, por diversos factores estas condiciones de continuidad no se satisfacen plenamente en la totalidad de los puntos de control, generándose errores que, para efectos del procedimiento que se describe, se suponen aleatorios. De esta manera, si se asume una distribución de los errores del tipo *Poisson*, como es común en teoría de flujos vehiculares, las condiciones anteriores pueden ser traducidas en los siguientes términos probabilísticos:

$$P(Q_k = \sum_i \lambda_i \cdot \delta_{ik}) = \frac{e^{-\sum_i \lambda_i \cdot \delta_{ik}} \cdot (\sum_i \lambda_i \cdot \delta_{ik})^{Q_k}}{Q_k!}$$

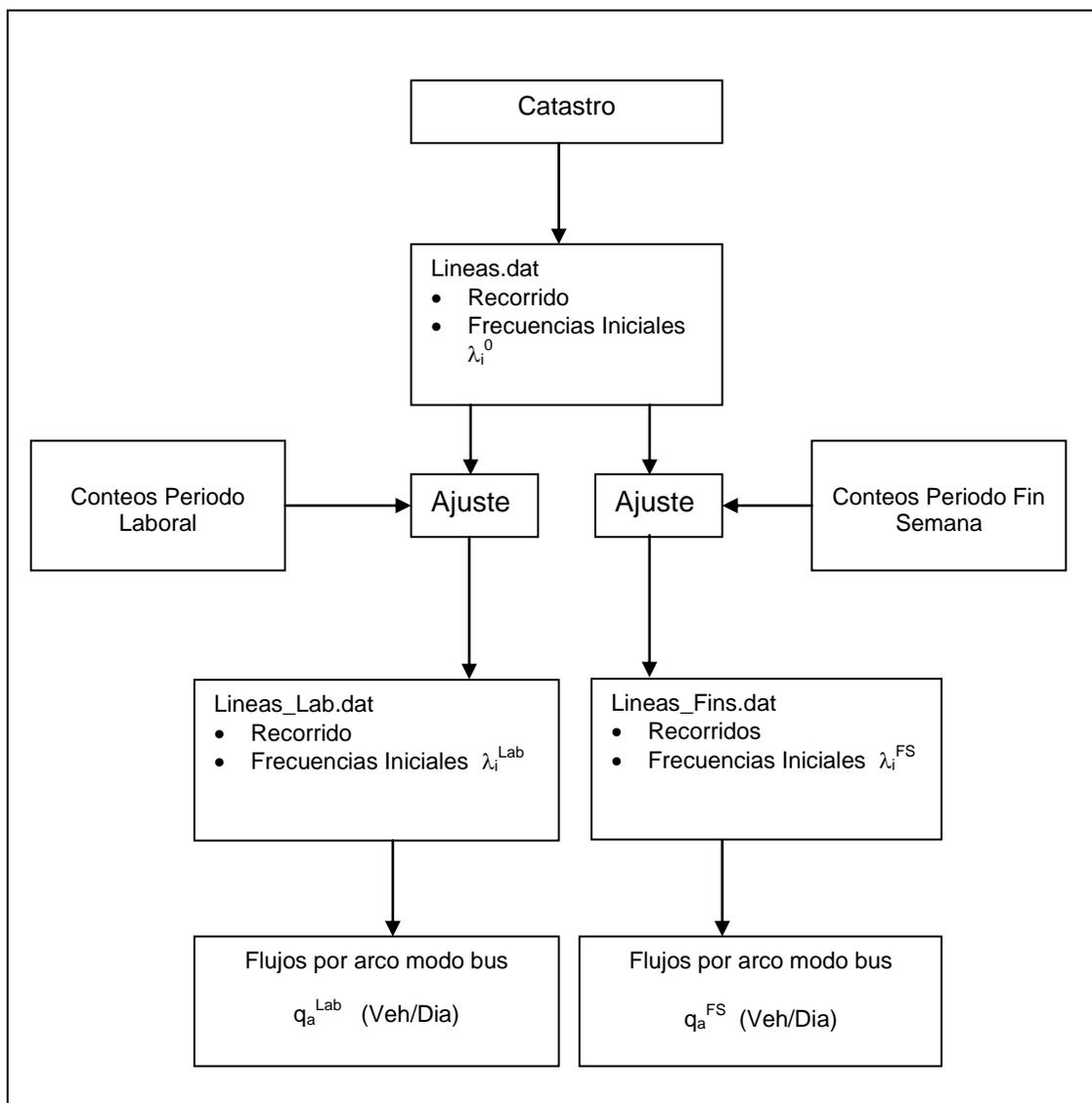
De esta manera, a partir de la ecuación anterior, es posible determinar los estimadores de máxima verosimilitud λ_i , que se derivan de maximizar la función log-verosimilitud, obteniéndose la siguiente expresión, válida $\forall i$:

$$\sum_k (\delta_{ik} - \frac{Q_k \cdot \delta_{ik}}{\sum_i \lambda_i \cdot \delta_{ik}}) = 0$$

d) **Resultados**

El procedimiento descrito fue aplicado para el presente caso obteniendo dos set de frecuencias ajustadas, representativos de los períodos *fuera punta laboral* y *fin de semana* respectivamente. En el siguiente diagrama se esquematiza esta situación.

FIGURA N° 8.4-1
PROCEDIMIENTO DE AJUSTE FRECUENCIA LÍNEAS DE BUSES.



Vale decir, se generaron dos archivos de líneas: *lineas_fp_lab.dat* y *lineas_fins.dat*, cada uno de ellos construidos a partir de los las frecuencias ajustadas, asociadas al período respectivo.

Posteriormente se aplicó la expresión del cálculo del flujo fijo, para obtener los flujos del modo bus en unidades de vehículo/día, en cada período y para cada arco de la red.

En el Cuadro N° 8.4-1 se presenta una comparación de los flujos de buses observados y modelados, para cada uno de los períodos considerados en la modelación.

**CUADRO Nº 8.4-1
COMPARACIÓN FLUJOS DE BUSES OBSERVADOS V/S MODELADOS**

Punto	Mov	Descripción	Flujo (veh/día)					
			Fuera Punta Laboral			Fin Semana		
			Observado	Modelado	Diferencia	Observado	Modelado	Diferencia
1	13	Ruta F-30 Con Con-Quintero	222.0	222.9	0.9	219.0	213.6	-5.4
1	31		190.0	222.9	32.9	215.0	213.6	-1.4
2	24	Ruta 60 Sector Colmo	737.0	528.0	-209.0	612.0	528.0	-84.0
2	42		575.0	528.0	-47.0	592.0	528.0	-64.0
3	13	Ruta 62 Sur Quillota	459.0	564.0	105.0	407.0	564.0	157.0
3	31		385.0	564.0	179.0	328.0	564.0	236.0
4	13	Ruta 62 Sur San Pedro	350.0	372.0	22.0	333.0	332.0	-1.0
4	31		351.0	372.0	21.0	294.0	332.0	38.0
5	24	Entre Limache y Olmue	177.0	175.6	-1.4	194.0	175.6	-18.4
5	42		174.0	175.6	1.6	186.0	175.6	-10.4
6	24	Ruta 62 entre Limache y V Alemana	383.0	396.0	13.0	453.0	454.9	1.9
6	42		384.0	396.0	12.0	494.0	454.9	-39.1
7	13	F 50 Sur Bifurcacion Quilpue	42.0	48.0	6.0	50.0	48.0	-2.0
7	31		65.0	48.0	-17.0	49.0	48.0	-1.0
8	24	Ruta 68 Sector Placilla	464.0	450.0	-14.0	415.0	450.0	35.0
8	42		438.0	450.0	12.0	457.0	450.0	-7.0

Se estimaron regresiones lineales entre los flujos observados y modelado, obteniéndose valores $r^2=0.82$ para el período Fuera Punta Laboral y $r^2=0.81$ para el caso del período fin de semana.

8.4.3 ASIGNACIÓN DE PASAJEROS Y ESTIMACIÓN DE MATRICES

Se implementó un modelo simplificado de asignación de buses, el cual está orientado a calcular en forma eficiente las variables de servicio del modo bus para los distintos escenarios de redes viales a simular. Estas variables de servicio son un requisito para la estimación de los modelos de demanda de viajes, los que permitirán posteriormente estimar la partición modal para los usuarios de la red suburbana del Corredor Central.

a) Implementación del modelo

El modelo de asignación requiere los siguientes elementos

- **Red de Modelación:** La red de modelación se construyó a partir del modelo operacional definido en la etapa anterior (red transporte privado + arcos de caminata + líneas de buses), a lo cual se le agregó las funciones de tiempo de viaje en arcos, asociadas a los servicios de transporte. En este caso las funciones de tiempo se han modelado como un factor del tiempo de viaje en vehículo liviano.

$$t_{_viaje}^b = f_a \cdot t_{_viaje}^{vl}$$

Vale decir, el tiempo de viaje para un arco a en bus es función del tiempo de viaje en arco a para el modo auto, el cual es a su vez resultado de una asignación de equilibrio. Se consideró un factor $f_a=1.25$, este valor es obtenido de los valores promedio utilizados en el modelo ESTRAVAL.

- **Matriz de viajes:** Para la implementación de un modelo de asignación de pasajeros de transporte público, se requiere disponer de una matriz de pasajeros para cada uno de los períodos modelados. Dado que en el presente estudio no se contempló la realización de encuestas O/D a pasajeros de bus como parte del estudio de base, es que se debió

recurrir a la información existente la que en este caso corresponde a las matrices estimadas como parte del estudio Macrozona Centro-Norte, realizado por Sectra el año 2002.

- **Módulo de Asignación:** EMME/2 posee un modulo de asignación de pasajeros a redes de transporte de buses, el cual entrega como resultado flujos de pasajeros por línea y flujos de pasajeros para cada arco de la red.

b) Ajuste de Matrices

Una vez definido el modelo de asignación, se estimaron matrices de pasajeros representativas de cada uno de los períodos a modelar. Para esto se consideró como punto de partida la información de pasajeros a nivel de Origen/Destino, proveniente del estudio Macrozona Norte, la cual fue ajustada de tal manera de poder replicar los volúmenes de pasajeros observados en los puntos de control del presente estudio.

Una primera tarea fue adaptar la información del estudio Macrozona Centro-Norte, lo que se realizó mediante la aplicación de un diccionario que contiene las equivalencias de códigos de zonas entre el estudio Macrozona Centro-Norte y el modelo Corredor Central.

Por otro lado, como parte de los estudios de base, se midieron tasas de ocupación de buses (pasajeros/bus) en diversos puntos de la red, en forma simultánea a la realización de encuestas O/D y flujos vehiculares. Con la información anterior se calculó el número de pasajeros en bus ($qpax_a$) que circula en cada arco de control, mediante la siguiente expresión:

$$qpax_a = TOC_a \bullet FB_a$$

donde TOC_a corresponde a la tasa de ocupación medida en el arco a y FB_a es el flujo de buses medido en el arco.

La matriz de pasajeros inicial fue ajustada de tal manera de replicar los conteos de pasajeros observados en los arcos de control. Para esto se utilizó el programa DEMADJTP.MAC implementado en EMME/2, en el cual se asume una asignación determinística de los pasajeros a la red de servicios de buses, considerando un criterio denominado estrategia óptima de elección. Los resultados del ajuste se presentan en la Figura N° 8.4-2 y Figura N° 8.4-3. Finalmente, los flujos de pasajeros por arco se observan en la Figura N° 8.4-4, en unidades de pax/día.

FIGURA N° 8.4-2
INDICADORES REGRESIÓN FLUJOS OBSERVADOS/MODELADOS PASAJEROS BUS (PAX/HR)
PERÍODO DIURNO LABORAL

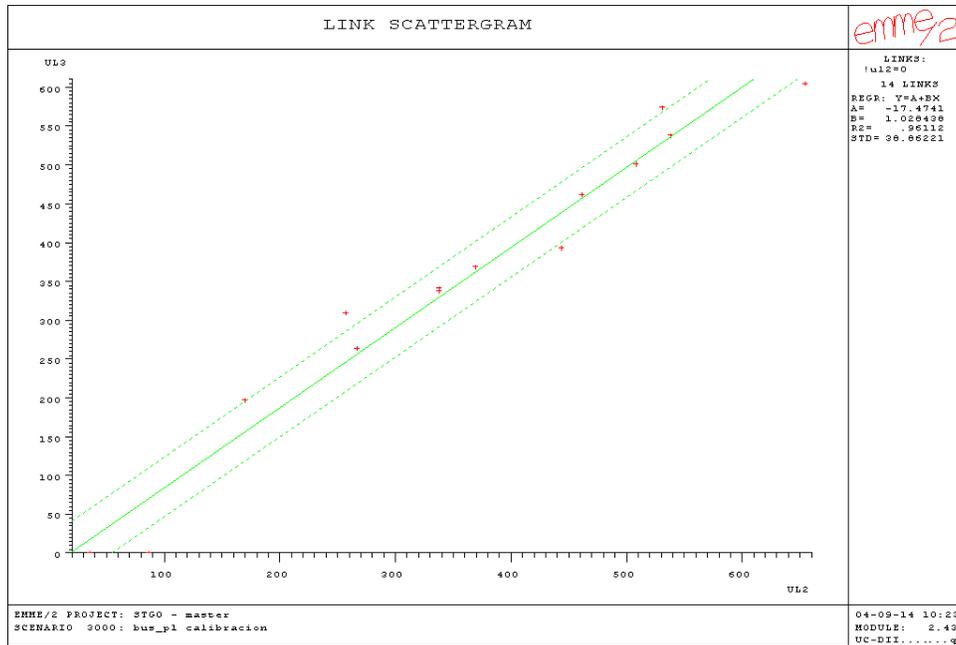
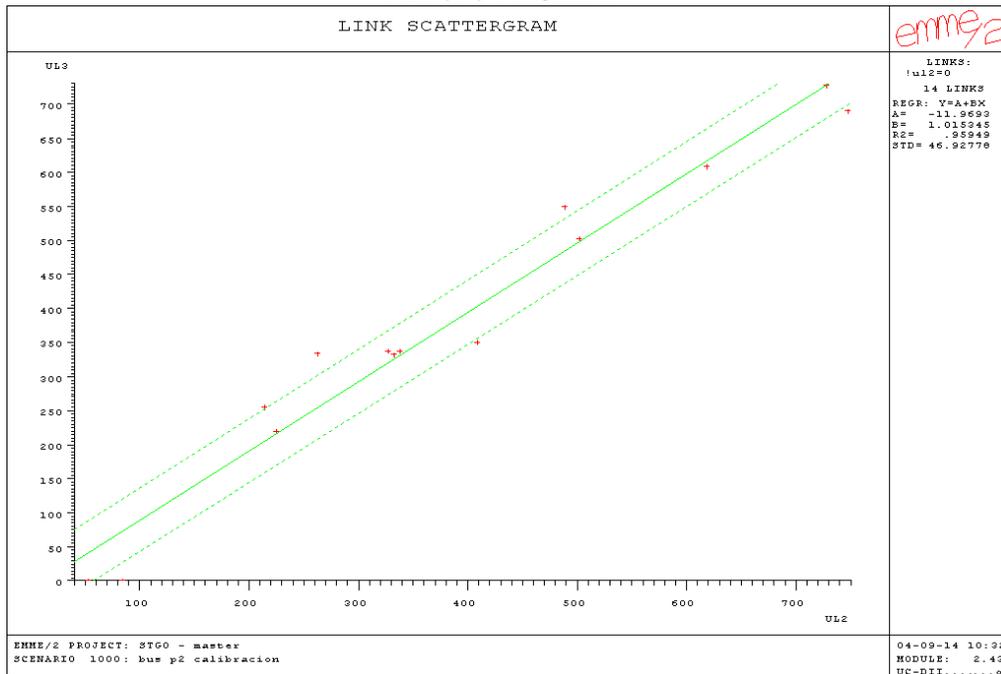


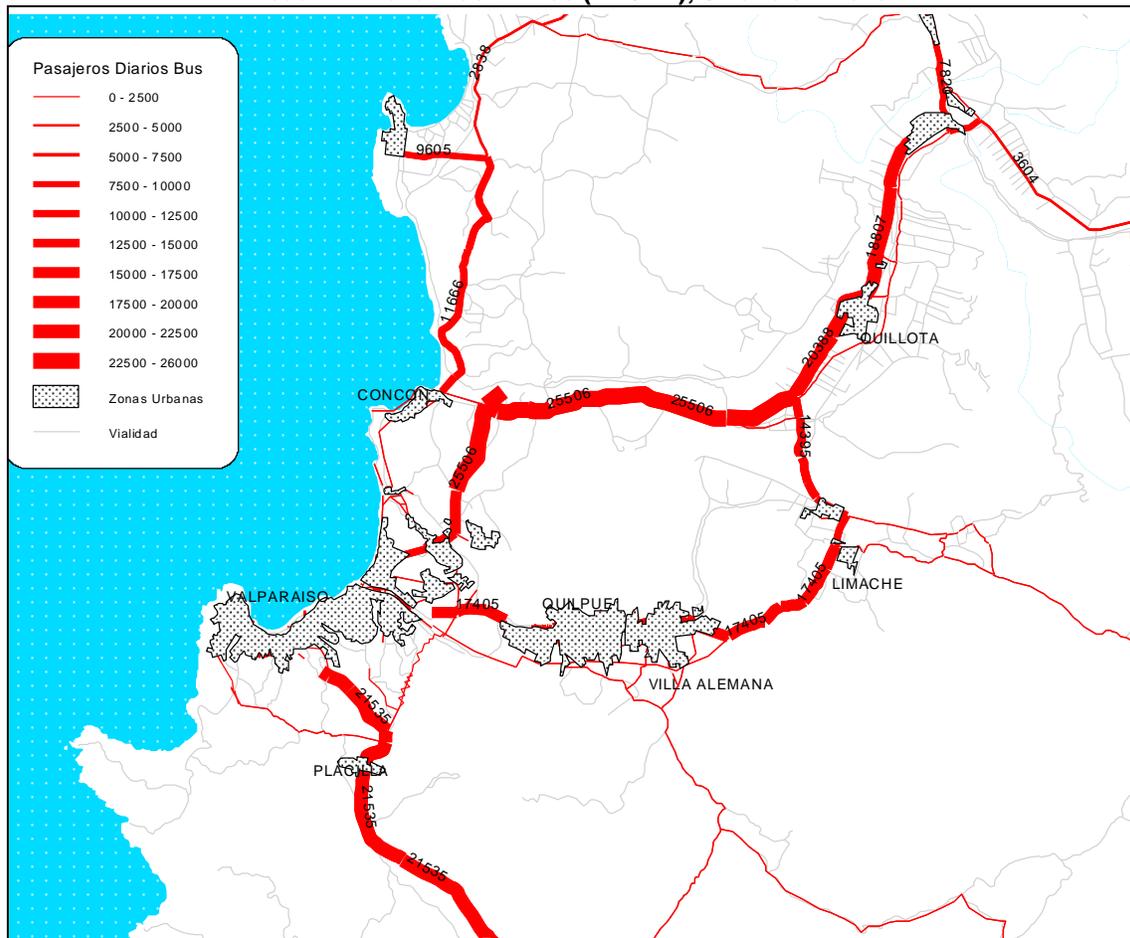
FIGURA N° 8.4-3
INDICADORES REGRESIÓN FLUJOS OBSERVADOS/MODELADOS PASAJEROS BUS (PAX/HR)
PERÍODO FIN SEMANA



CUADRO N° 8.4-2
COMPARACIÓN FLUJOS MODELADOS – FLUJOS OBSERVADOS

Código	Descripción	Flujos (pax/hr) Laboral		Flujos (pax/hr) Laboral	
		Obs	Mod	Obs	Mod
1	Ruta F-30 Quintero - Con Con	257	260,7	263	267,5
2		170	184,7	215	233,4
3	Ruta 60Ch Colmo -Con Con	654	649,1	747	738,8
4		508	505,1	619	609,2
5	Ruta 62 San Pedro - Limache	444	442,4	409	406,9
6		267	252,9	225	215,9
7	Ruta 62 Limache – V Alemana	462	460,3	332	333,9
8		338	321,7	338	322,7
9	Ruta 68, Sector Peñuelas	130	131,3	502	151,4
10		140	140,9	728	160,8

FIGURA N° 8.4-4
FLUJO DE PASAJEROS EN BUS (PAX/DÍA), SITUACIÓN ACTUAL



8.5 DETERMINACIÓN DE MATRICES ORIGEN-DESTINO

El proceso de consolidación de matrices origen-destino está estrechamente vinculado a la etapa de calibración del Modelo de asignación, y consiste en determinar una matriz única, por tipo de vehículo (automóviles y camiones), a partir de las encuestas origen-destino obtenidas en diversos puntos de la red. La construcción de dicha matriz única, debe evitar los dobles conteos y además debe ser capaz de reproducir los flujos observados en la red. La segunda condición se logra en la etapa de ajuste a partir de conteos, lo cual se explica en el siguiente punto.

Los dobles conteos se producen al existir al menos dos puntos que controlen el mismo par origen-destino. Si dichos puntos se encuentran en serie, los viajes para ese par origen-destino, podrán ser promediados. Si por el contrario, se encuentran en paralelo bastará con sumarlos. Sin embargo, la diversidad de situaciones que puede producirse incluso en una red de mediana complejidad hace en general extremadamente laborioso el proceso de consolidación, esto es, obtener una matriz única a partir del conjunto de encuestas realizadas en diversos puntos de control.

Otro problema que debe ser superado por la consolidación de matrices es la existencia de celdas vacías, producto del elevado nivel de desagregación de las matrices (por un gran número de zonas o desagregación por tipo de producto o usuario). A este respecto, se debe mencionar dos tipos de celdas nulas:

- Cero medido o estructural: esta celda nula se debe a que la ubicación geográfica del punto de control no permite controlar viajes entre un determinado par de zonas.
- Cero muestral: el cual se debe a que la participación del par origen-destino, en el total de viajes controlados es muy baja lo cual deriva en una celda nula por consideraciones de muestreo.

Una manera comúnmente utilizada para evitar el problema de las celdas vacías consiste en promediar solamente aquellos viajes mayores a cero. Sin embargo, este método incurre en una sobreestimación de los viajes al no considerar las celdas nulas por muestreo.

Considerando estos inconvenientes, se plantea realizar la consolidación de encuestas utilizando la metodología propuesta por Gálvez et al (1996), la cual permite encontrar los mejores valores para:

λ_{ij} Flujo real en vehículos por hora que circula desde la zona origen i a la zona destino j . Esta es la matriz consolidada que se requiere estimar. Corresponde a un período temporal y tipo de vehículo dado, pero por simplicidad han sido omitidos los subíndices correspondientes.

X_r Flujo real en vehículos por hora que circula por el arco r . Corresponde a un período temporal y tipo de vehículo dado.

Entre estas variables existe la siguiente relación

$$X_r = \sum_{ij} \lambda_{ij} \cdot p_{ijr}$$

donde p_{ijr} representa la proporción del flujo desde la zona origen i a la zona destino j que pasa por el arco r . Esta probabilidad de elección es obtenida de la calibración de la red vial.

Dado que se considera conocido el valor de X_r , el método se aplicará para obtener los mejores valores de λ_{ij} . La estimación de esta variable deberá hacerse con la siguiente información:

- Datos procedentes de las Encuestas Origen-Destino
 - n_{ijk} Número total de vehículos observados en el punto de control k con origen en la zona i y destino en la zona j.
 - t_k Duración, en horas, de la encuesta Origen-Destino en el punto de control k.
 - m_k Tasa de muestreo, esto es, proporción que representa el flujo encuestado en relación al flujo total en el punto de control k.
- Datos procedentes de los conteos
 - n_r Número total de vehículos observados en el punto de conteo r.
 - t_r Duración, en horas, del conteo en el punto de conteo r.
- Datos procedentes del modelo de asignación
 - p_{ija} Proporción del flujo desde la zona origen i a la zona destino j que pasa por el arco a. Esta proporción es obtenida mediante el modelo de asignación

Al combinar los datos procedentes de las encuestas Origen-Destino y los conteos vehiculares se tiene un problema de sobreinformación, esto es, hay más datos que incógnitas. Para resolver este tipo de problemas existen diversos métodos posibles, tales como regresión lineal múltiple, minimización de la función chi cuadrado, y máxima verosimilitud, de entre los cuales se ha elegido este último.

El método de máxima verosimilitud es una técnica de estimación que se emplea con frecuencia, porque posee múltiples propiedades asintóticas (por ejemplo, eficiencia y consistencia). El objetivo es encontrar el valor de población que mejor se ajuste a la muestra observada, es decir, el valor de la población hipotético más susceptible que, cualquier otro, de generar la muestra observada.

Para el caso en que se conocen los valores de X_r , la expresión que se deduce para los viajes al aplicar el método de Máxima Verosimilitud, es la siguiente:

$$\langle \lambda_{ij} \rangle = \frac{\sum_k n_{ijk}}{\sum_k t_k \cdot m_k \cdot p_{ijk}}$$

Se debe notar que, al utilizar el proceso de consolidación descrito, la calibración de la red vial de modelación y la agregación de matrices puede volverse un proceso iterativo, en el que se requiere conocer las probabilidades de asignación para estimar las matrices y, a su vez, es necesario contar con matrices agregadas para determinar estas proporciones. Sin embargo, una forma práctica de utilizar el método, es estimar dichas probabilidades a partir de una primera salida del modelo de asignación (en este caso EMME/2) con la red ya construida y, posteriormente, aplicar el algoritmo.

8.5.1 CÁLCULO DE MATRICES DE PROPORCIONES “PIJAS”.

Para realizar los procesos de consolidación y ajuste de matrices, es necesario aplicar un procedimiento que permita estimar las matrices de proporciones P_{ij}^a , para cada arco involucrado en dicho proceso (un subconjunto del total de arcos de la red). En Emme/2 este cálculo se puede realizar a través de la opción denominada “additional assignment demand” (*aad*), que se puede activar en el momento de realizar una asignación estándar.

La opción *aad* permite rescatar de la última iteración de Frank Wolfe los flujos por rutas para cada par O/D, con lo que es posible obtener la matriz de proporciones para cierto arco predeterminado. Sin embargo, Emme2 presenta la limitación que sólo permite obtener una matriz de pijas por cada asignación, lo que significa que se deben realizar sucesivas asignaciones con el fin de rescatar cada una de las matrices de proporciones representativas de los arcos involucrados en el proceso de consolidación. Para resolver este problema se ha implementado un programa especial que permite rescatar las matrices de proporciones P_{ij}^a , el se denomina ME2.mac cual ya ha sido aplicado en estudios de asignación realizados para el MOP.

El proceso generará un conjunto de matrices adicionales M^{mn} que indica para cada celda qué arcos (sólo los marcados) se utilizaron en los viajes V_{ij} , para cada categoría m y en cada iteración n . Posteriormente, finalizado el proceso de asignación estocástica (ME.mac), mediante un programa adicional, se transforma el set M^{mn} en el formato usual de proporciones P_{ij}^a .

8.5.2 CONSOLIDACIÓN DE MATRICES

Se realizó la calibración de la red de modelación y se obtuvieron las matrices de viajes consistentes con los flujos observado y los costos de viaje percibidos por los usuarios de la red. A continuación se presentan los indicadores y resultados finalmente obtenidos.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen con el porcentaje registros de la encuesta EOD, leídos en el proceso de consolidación, en cada uno de los puntos de calibración, para cada modo. En general se observa que los porcentajes de encuestas leídas superan el 85%, siendo el valor más bajo de un 83.25% (camiones simples, fin de semana) lo que indica una buena representatividad del modelo de asignación, dado que las matrices fueron obtenidas utilizando un alto porcentaje de las encuestas realizadas. Por otro lado este valor revela que el modelo de asignación rutal es bastante representativo de las elecciones que realizan los usuarios de la red.

CUADRO N° 8.5-1
PORCENTAJE ENCUESTAS PROCESADAS EN EL PROCESO DE CONSOLIDACIÓN

Modo	Periodo	Valor (%)
Autos	Laboral	89.64
Autos	Fin Semana	85.27
Camiones Simples	Laboral	83.25
Camiones Simples	Fin Semana	84.76
Camiones Pesados	Laboral	85.23
Camiones Pesados	Fin Semana	87.15

a) Flujos Modelados

El Cuadro N° 8.5-2 al Cuadro N° 8.5-4 presentan los flujos modelados comparándolos con los tránsitos observados en un subconjunto de arcos de la red, correspondiente a los puntos de control de encuesta. Los flujos se presentan para los períodos relevantes en este estudio, vale decir “Laboral” y “Fin de Semana”, para cada uno de los modos reasignables: Autos y Camiones.

En la Figura N° 8.5-1 a Figura N° 8.5-3 se presentan los flujos asignados para los modos y períodos mencionados.

FIGURA N° 8.5-1
FLUJO MODELADO SITUACIÓN ACTUAL, CAMIONES PESADOS (VEH/DÍA)

FIGURA N° 8.5-2
FLUJO MODELADO SITUACIÓN ACTUAL, CAMIONES SIMPLES (VEH/DÍA)

FIGURA N° 8.5-3
FLUJO MODELADO SITUACIÓN ACTUAL, VEHÍCULOS LIVIANOS (VEH/DÍA)

CUADRO Nº 8.5-2
COMPARACIÓN FLUJOS MODELADOS V/S FLUJOS OBSERVADOS (VEH/HR), VEHÍCULOS LIVIANOS

Ruta	Ubicación	Sentido	Nodo I	Nodo F	Período 1			Período 2		
					Flujo Obs	Flujo Mod	Dif	Flujo Obs	Flujo Mod	Dif
Ruta F-30-E	Entre Con-Con y Quintero	N-S	9876	39030	214.5	215.7	1.2	252.0	256.8	4.8
Ruta F-30-E	Entre Con-Con y Quintero	S-N	39030	9876	212.1	212.7	0.6	289.0	280.6	-8.4
Ruta 60-Ch	Sector Colmo	O-P	9844	47020	235.9	227.9	-8.0	290.8	250.0	-40.8
Ruta 60-Ch	Sector Colmo	P-O	47020	9844	225.8	193.9	-31.9	277.3	229.9	-47.4
Ruta 62	Sur de Quillota	N-S	9848	9840	136.7	139.6	2.9	112.8	152.5	39.7
Ruta 62	Sur de Quillota	S-N	9840	9848	129.3	132.8	3.5	94.6	101.5	6.9
Ruta 62	Sur de San Pedro	N-S	9837	9836	208.0	232.9	24.9	187.8	184.2	-3.6
Ruta 62	Sur de San Pedro	S-N	9836	9837	218.6	268.4	49.8	184.3	262.6	78.3
Ruta F-590	Entre Limache y Olmué	O-P	9833	5101	125.0	123.7	-1.3	157.5	154.3	-3.2
Ruta F-590	Entre Limache y Olmué	P-O	5101	9833	123.7	117.2	-6.5	165.2	158.5	-6.7
Ruta 62	Entre Limache y V. Alemana	O-P	9804	9803	200.5	202.9	2.4	217.7	227.4	9.7
Ruta 62	Entre Limache y V. Alemana	P-O	9803	9804	186.2	214.4	28.2	291.7	309.7	18.0
Ruta F-50	Sur Bifurcación Quilpué	N-S	5085	9628	43.3	45.1	1.8	75.1	59.0	-16.1
Ruta F-50	Sur Bifurcación Quilpué	S-N	9628	5085	52.7	51.4	-1.3	70.0	62.4	-7.6
Ruta 68	Sector Placilla	O-P	9891	9892	314.3	308.4	-5.9	307.9	295.0	-12.9
Ruta 68	Sector Placilla	P-O	9892	9891	295.4	285.7	-9.7	557.5	514.2	-43.3

CUADRO Nº 8.5-3
COMPARACIÓN FLUJOS MODELADOS V/S FLUJOS OBSERVADOS (VEH/HR), CAMIONES SIMPLES

Ruta	Ubicación	Sentido	Nodo I	Nodo F	Período 1			Período 2		
					Flujo Obs	Flujo Mod	Dif	Flujo Obs	Flujo Mod	Dif
Ruta F-30-E	Entre Con-Con y Quintero	N-S	9876	39030	29.8	29.5	-0.3	20.8	19.5	-1.3
Ruta F-30-E	Entre Con-Con y Quintero	S-N	39030	9876	28.3	28.0	-0.3	19.8	21.3	1.5
Ruta 60-Ch	Sector Colmo	O-P	9844	47020	41.3	37.6	-3.7	24.1	19.9	-4.2
Ruta 60-Ch	Sector Colmo	P-O	47020	9844	43.5	41.0	-2.5	24.7	23.1	-1.6
Ruta 62	Sur de Quillota	N-S	9848	9840	17.2	17.4	0.2	3.5	5.4	1.9
Ruta 62	Sur de Quillota	S-N	9840	9848	17.0	19.0	2.0	3.9	6.3	2.4
Ruta 62	Sur de San Pedro	N-S	9837	9836	33.1	35.4	2.3	5.4	10.1	4.7
Ruta 62	Sur de San Pedro	S-N	9836	9837	37.3	41.0	3.7	6.8	20.8	14.0
Ruta F-590	Entre Limache y Olmué	O-P	9833	5101	15.4	17.8	2.4	13.6	13.5	-0.1
Ruta F-590	Entre Limache y Olmué	P-O	5101	9833	18.2	18.9	0.7	14.7	13.4	-1.3
Ruta 62	Entre Limache y V. Alemana	O-P	9804	9803	26.1	19.8	-6.3	17.8	12.5	-5.3
Ruta 62	Entre Limache y V. Alemana	P-O	9803	9804	27.3	26.8	-0.5	21.8	20.4	-1.4
Ruta F-50	Sur Bifurcación Quilpué	N-S	5085	9628	10.1	9.6	-0.5	2.2	2.4	0.2
Ruta F-50	Sur Bifurcación Quilpué	S-N	9628	5085	13.7	11.7	-2.0	2.4	3.1	0.7
Ruta 68	Sector Placilla	O-P	9891	9892	41.3	43.2	1.9	7.9	8.5	0.6
Ruta 68	Sector Placilla	P-O	9892	9891	45.8	46.8	1.0	7.7	7.2	-0.5

CUADRO Nº 8.5-4
COMPARACIÓN FLUJOS MODELADOS V/S FLUJOS OBSERVADOS (VEH/HR), CAMIONES PESADOS

Ruta	Ubicación	Sentido	Nodo I	Nodo F	Periodo 1			Periodo 2		
					Flujo Obs	Flujo Mod	Dif	Flujo Obs	Flujo Mod	Dif
Ruta F-30-E	Entre Con-Con y Quintero	N-S	9876	39030	19.3	18.0	-1.3	19.5	18.9	-0.6
Ruta F-30-E	Entre Con-Con y Quintero	S-N	39030	9876	17.1	16.5	-0.6	16.3	16.5	0.2
Ruta 60-Ch	Sector Colmo	O-P	9844	47020	41.8	35.4	-6.4	31.2	28.1	-3.1
Ruta 60-Ch	Sector Colmo	P-O	47020	9844	46.1	42.8	-3.3	41.3	33.9	-7.4
Ruta 62	Sur de Quillota	N-S	9848	9840	3.2	6.6	3.4	0.1	4.0	3.9
Ruta 62	Sur de Quillota	S-N	9840	9848	2.2	8.3	6.1	0.3	5.6	5.3
Ruta 62	Sur de San Pedro	N-S	9837	9836	14.5	14.3	-0.2	4.8	8.4	3.6
Ruta 62	Sur de San Pedro	S-N	9836	9837	16.7	21.2	4.5	3.7	6.0	2.3
Ruta F-590	Entre Limache y Olmué	O-P	9833	5101	1.2	1.9	0.7	1.8	2.3	0.5
Ruta F-590	Entre Limache y Olmué	P-O	5101	9833	1.9	2.3	0.4	2.0	2.5	0.5
Ruta 62	Entre Limache y V. Alemana	O-P	9804	9803	14.1	11.9	-2.2	12.8	4.9	-7.9
Ruta 62	Entre Limache y V. Alemana	P-O	9803	9804	13.0	12.5	-0.5	11.8	4.3	-7.5
Ruta F-50	Sur Bifurcación Quilpué	N-S	5085	9628	8.0	8.0	0.0	1.1	1.6	0.5
Ruta F-50	Sur Bifurcación Quilpué	S-N	9628	5085	9.0	8.1	-0.9	1.1	2.0	0.9
Ruta 68	Sector Placilla	O-P	9891	9892	80.2	81.3	1.1	30.7	31.6	0.9
Ruta 68	Sector Placilla	P-O	9892	9891	88.6	90.3	1.7	18.8	20.5	1.7

La siguiente tabla permite comparar el TMDA en los puntos mencionados en las tablas anteriores.

CUADRO Nº 8.5-5
COMPARACIÓN FLUJOS MODELADOS V/S FLUJOS OBSERVADOS (TMDA)

Ruta	Ubicación	Nodo I	Nodo F	TMDA	
				Observado	Modelados
Ruta F-30-E	Entre Con-Con y Quintero	9876	39030	12549	12508
Ruta 60-Ch	Sector Colmo	9844	47020	14873	13371
Ruta 62	Sur de Quillota	9848	9840	6894	7656
Ruta 62	Sur de San Pedro	9837	9836	11891	13621
Ruta F-590	Entre Limache y Olmué	9833	5101	7038	6924
Ruta 62	Entre Limache y V. Alemana	9804	9803	11375	11650
Ruta F-50	Sur Bifurcación Quilpué	5085	9628	3151	3001
Ruta 68	Sector Placilla	9891	9892	19239	18897

b) Indicadores de ajuste

En el Cuadro Nº 8.5-6 se presenta los test estadísticos correspondientes a las regresiones lineales, que representan el ajuste entre los flujos modelados y los observados, para cada uno de los modos y períodos involucrados en la calibración. Se debe mencionar que los puntos considerados en este caso corresponden a la ubicación de los puntos de control de encuestas.

CUADRO Nº 8.5-6
INDICADORES DE AJUSTE

Modelo	Regresión Lineal (1)			
	R ²	STD	A	B
VL Laboral	0.944	18.59	5.15	0.96
VL Fin Semana	0.936	31.65	-9.32	1.05
CS Laboral	0.954	2.59	1.22	0.96
CS Fin Semana	0.947	2.02	-1.08	1.13
CP Laboral	0.988	3.08	-0.36	1.01
CP Fin Semana	0.910	4.04	-0.78	1.10

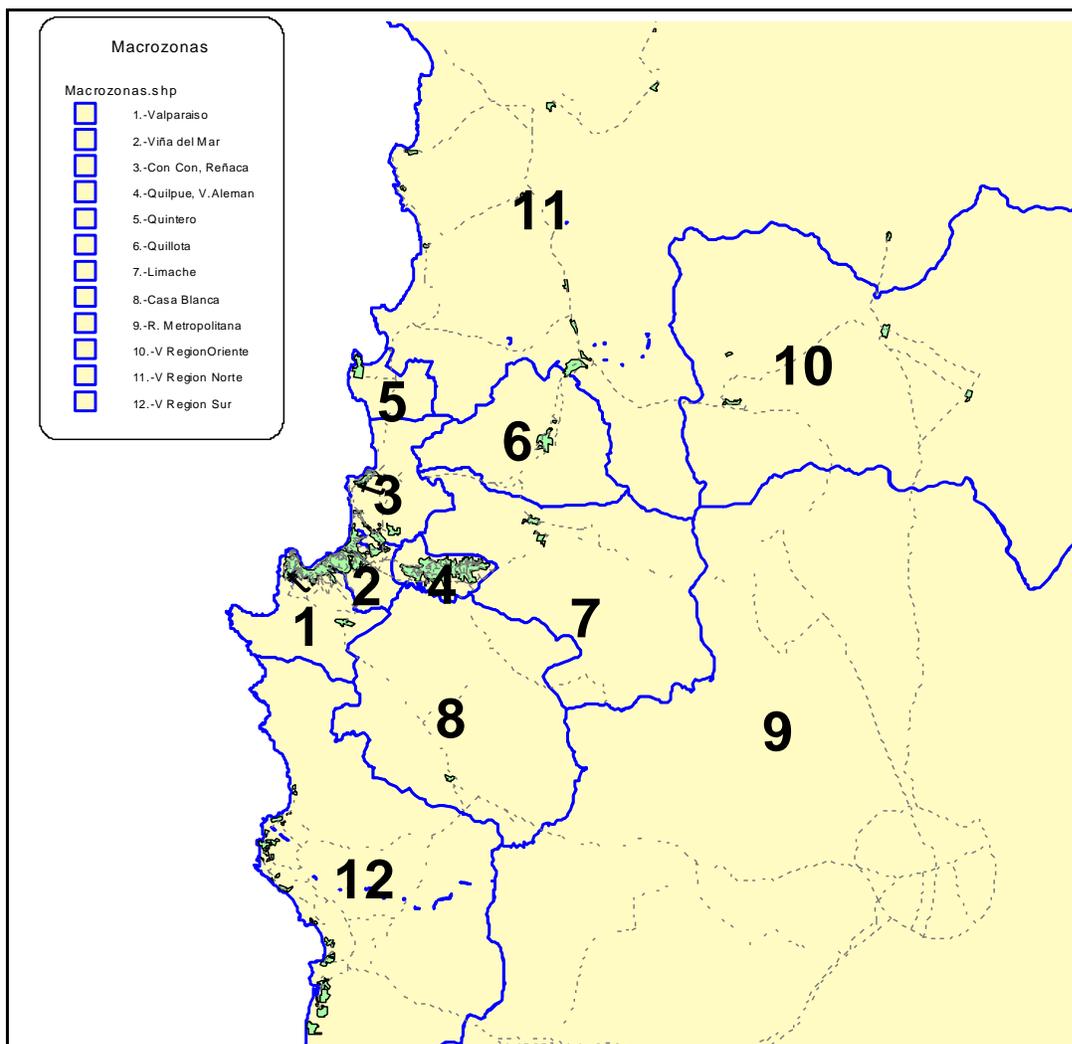
$$(1): f_{\text{mod}} = a + b * f_{\text{obs}}$$

Los resultados del cuadro anterior demuestran que el modelo de asignación posee buenos indicadores de calibración. El test r^2 es siempre superior al 90%, con un promedio de un 95%. Además la pendiente b tiende a la unidad en todos los casos, lo que indica que no hay presencia de errores sistemáticos en la estimación.

c) Matrices Consolidadas

A continuación, se reportan las matrices de viajes obtenidas en el proceso de asignación-consolidación. Para fines de presentación se realizó una agregación de las 78 zonas originales del modelo, a un total de 13 zonas. Dichas zonas están ordenadas en un contexto territorial de adyacencia, y de relación de dependencia. En la Figura N° 8.5-4 se esquematiza esta agregación, mientras, que el Cuadro N° 8.5-7 al Cuadro N° 8.5-12 se reportan las matrices mencionadas, por modo y período.

**FIGURA N° 8.5-4
MACROZONAS DEFINIDAS**



En los cuadros Cuadro N° 8.5-7 al Cuadro N° 8.5-18 se presenta un resumen con los viajes de las zonas interurbanas del Corredor Central que acceden a la conurbación de Valparaíso.

En el caso de vehículos livianos, los resultados dan muestra que la zona que genera (y atrae) mayor cantidad de viajes es Quillota-La Calera, con más de 500 viajes/hora en el período laboral. Sin embargo, un alto porcentaje de estos viajes son de corta distancia, existiendo una fuerte dependencia con Limache.

En la conurbación la zona con mayor cantidad de viajes es Viña del Mar, con 380 viajes/ hora, seguida por Con Con – Reñaca, y en tercer lugar Valparaíso. Se denota una dependencia de estas zonas con la Región Metropolitana, que es hacia donde se dirigen gran cantidad de los viajes generados.

El total de los viajes corresponde a 2600 (veh/hr), cifra que aumenta a casi 3000 (veh/hr), en el período fin de semana. Dicho aumento es absorbido mayoritariamente por las zonas Viña del Mar, Con Con-Reñaca y Limache (donde está incluido Olmué).

Se observa que la zona con mayor atracción hacia la conurbación es la Región Metropolitana, con 250 veh/hr, cifra que aumenta en el período Fin de Semana. En segundo y tercer lugar se ubican Quillota -La Calera (180 veh/hr) y Limache (130 veh/hr) respectivamente. Existen ciertas diferencias en los viajes en sentido contrario, pero los ordenes de magnitud se mantienen.

Para el modo Camiones Pesados, se observa que la zona que más viajes genera y atrae en el período laboral es Valparaíso con aproximadamente 80 veh/hr. Le siguen en importancia la Región Metropolitana (50 veh/hr), Con-Con (38 veh/hr) y Limache (25 veh/hr). El total de viajes corresponde a 320 veh/hr, cantidad que disminuye a 155 veh/hr los fines de semana.

Finalmente, en el modo camiones simples se observa un comportamiento distinto al caso anterior, ya que las zonas que generan mayor flujo son Limache (59 veh/hr) y Quillota-La Calera (56 veh/hr). En general las zonas presentan una generación bastante pareja de viajes, a excepción de las zonas ubicadas a gran distancia (Casablanca, V Región Oriente, V Región Sur, zonas externas). El total de viajes corresponde a 370 veh/hr, cifra que, al igual que en el caso de camiones pesados, disminuye a la mitad los fines de semana (165 veh/hr).

CUADRO Nº 8.5-7
MATRIZ ORIGEN DESTINO POR MACROZONAS, AUTOMÓVILES PERIODO LABORAL.

Macro Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
1.Valparaíso	0	0	2	0	11	17	13	30	62	7	19	16	2	185
2. Viña del Mar	0	0	19	0	40	61	46	12	104	11	58	19	10	384
3.Con Con, Reñaca	3	16	42	1	36	51	21	4	28	3	17	3	2	234
4:Quilpue, V Alemana	0	0	1	0	5	23	45	14	20	2	21	4	0	139
5. Quintero	11	48	38	3	0	3	0	0	10	0	0	0	0	117
6.Quillota	16	82	45	34	4	236	109	0	0	0	0	0	0	530
7. Limache	16	39	17	55	1	131	161	1	2	3	16	0	0	448
8. Casa Blanca	29	16	2	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65
9. Región Metrop.	91	103	25	22	1	0	4	0	0	0	3	0	0	253
10. V Región Oriente	7	13	2	3	0	0	4	0	0	0	0	0	0	31
11. V Región Norte	18	70	15	15	0	0	20	0	0	0	0	0	0	142
12. V Región Sur	17	15	2	4	0	1	0	0	0	0	0	0	1	43
13. Norte, Sur, Arg.	2	7	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
Total general	213	413	218	159	101	527	429	64	229	30	138	45	18	2590

CUADRO Nº 8.5-8
MATRIZ ORIGEN DESTINO POR MACROZONAS, AUTOMÓVILES PERIODO ALTA.

Macro Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
1.Valparaíso	0	0	3	0	12	10	27	40	106	3	15	17	16	253
2. Viña del Mar	0	0	17	0	33	48	62	21	237	11	59	17	30	541
3.Con Con, Reñaca	4	23	50	0	45	64	35	1	51	7	45	2	5	337
4:Quilpue, V Alemana	0	0	1	0	12	37	71	24	32	7	29	5	2	224
5. Quintero	7	44	60	6	0	3	3	1	5	0	0	2	0	135
6.Quillota	8	73	42	24	5	144	54	0	0	0	1	0	0	357
7. Limache	12	51	24	72	2	79	233	1	3	3	22	1	1	511
8. Casa Blanca	23	19	2	20	0	1	3	0	0	0	0	0	0	74
9. Región Metrop.	75	115	26	24	10	0	5	0	0	0	2	0	0	260
10. V Región Oriente	3	22	6	6	0	0	2	0	0	0	0	0	0	43
11. V Región Norte	6	63	30	16	1	1	15	1	2	0	0	1	0	141
12. V Región Sur	14	17	4	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	45
13. Norte, Sur, Arg.	5	7	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
Total general	163	438	274	178	126	394	517	92	441	33	178	50	57	2947

CUADRO Nº 8.5-9
MATRIZ ORIGEN DESTINO POR MACROZONAS, CAMIONES SIMPLES PERIODO LABORAL.

Macro Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
1.Valparaíso	0,0	0,0	2,2	0,0	2,3	2,6	3,2	5,9	11,4	1,5	3,0	3,6	2,4	38,3
2. Viña del Mar	0,0	0,0	2,2	0,0	3,2	3,1	2,5	0,9	14,2	0,6	5,9	0,9	0,4	34,1
3.Con Con, Reñaca	1,0	1,3	2,2	1,0	5,2	6,9	8,3	1,3	4,4	0,9	6,0	1,3	0,0	40,3
4:Quilpue, V Alemana	0,0	0,0	0,6	0,0	0,2	6,1	7,6	3,4	4,1	1,4	4,7	0,8	0,2	29,5
5. Quintero	1,1	5,5	5,7	1,9	0,0	0,6	0,9	0,0	0,9	0,0	5,2	0,0	0,0	22,2
6.Quillota	2,9	2,2	4,1	3,7	1,4	23,7	15,2	0,0	1,5	0,0	0,3	0,3	0,5	56,2
7. Limache	0,9	1,2	12,6	10,3	0,3	11,0	15,8	0,1	0,8	1,1	4,2	0,0	0,9	59,7
8. Casa Blanca	1,3	0,4	1,3	1,9	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,3	6,3
9. Región Metrop.	17,8	12,8	3,4	4,7	2,0	3,4	0,5	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	46,3
10. V Región Oriente	0,0	0,3	1,6	0,4	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0
11. V Región Norte	2,0	3,5	7,0	3,2	0,0	0,5	5,9	0,1	0,4	0,0	0,0	0,2	0,0	23,1
12. V Región Sur	2,2	0,0	0,8	2,3	0,1	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	6,7
13. Norte, Sur, Arg.	0,8	0,7	0,8	1,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8
Total general	30,3	28,4	44,9	30,8	15,2	58,9	62,6	12,0	37,9	5,9	31,6	7,3	4,9	371,3

CUADRO Nº 8.5-10
MATRIZ ORIGEN DESTINO POR MACROZONAS, CAMIONES SIMPLES PERIODO FESTIVO.

Macro Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
1.Valparaíso	0,0	0,0	0,3	0,0	2,3	2,7	0,6	1,1	2,3	1,0	3,5	0,5	0,5	15,3
2. Viña del Mar	0,0	0,0	0,7	0,0	3,3	1,7	4,2	0,0	0,0	0,3	3,1	0,0	1,0	14,6
3.Con Con, Reñaca	1,4	0,4	1,4	1,4	4,2	2,4	5,6	0,0	0,0	0,7	6,4	0,5	0,0	25,0
4:Quilpue, V Alemana	0,0	0,0	1,0	0,0	0,9	3,2	3,7	0,5	0,5	1,8	7,2	0,5	0,0	19,6
5. Quintero	1,4	1,7	5,6	0,7	0,0	0,3	0,5	0,2	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	11,3
6.Quillota	0,7	0,2	1,9	1,7	0,4	6,5	2,5	0,1	0,7	0,0	0,1	0,0	0,0	15,2
7. Limache	0,7	0,7	5,1	5,7	0,4	3,2	15,7	0,0	1,0	0,9	0,2	0,3	0,0	34,4
8. Casa Blanca	0,4	0,8	0,0	0,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0
9. Región Metrop.	1,6	1,6	0,6	1,3	0,0	0,6	1,3	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,2	8,0
10. V Región Oriente	0,4	0,9	0,9	0,7	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5
11. V Región Norte	1,3	1,9	4,7	0,3	0,3	0,1	1,2	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3
12. V Región Sur	0,4	0,4	0,4	0,9	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	2,7
13. Norte, Sur, Arg.	0,8	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9
Total general	9,5	9,4	23,8	13,6	12,1	21,5	36,1	2,1	6,5	5,0	21,4	2,0	1,8	165,4

CUADRO Nº 8.5-11
MATRIZ ORIGEN DESTINO POR MACROZONAS, CAMIONES PESADOS PERIODO LABORAL.

Macro Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
1.Valparaíso	0,0	0,0	2,0	0,0	0,4	2,8	2,1	6,9	40,3	4,7	1,4	8,3	18,0	87,2
2. Viña del Mar	0,0	0,0	1,3	0,0	1,2	2,9	1,8	1,0	6,0	0,6	1,1	0,3	0,6	17,4
3.Con Con, Reñaca	1,4	1,4	3,1	0,0	2,1	4,7	9,4	0,0	1,6	2,3	5,8	2,2	4,2	38,7
4:Quilpue, V Alemana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	3,9	0,2	0,7	2,7	0,0	2,9	0,1	0,9	12,1
5. Quintero	0,7	1,1	2,7	0,0	0,0	1,1	0,5	0,1	0,6	0,0	1,4	0,0	1,8	10,4
6.Quillota	0,4	2,3	1,9	1,4	0,2	0,9	4,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	11,8
7. Limache	1,6	2,3	13,8	4,9	1,2	2,1	0,6	0,1	0,1	0,43	0,7	0,3	0,0	28,6
8. Casa Blanca	8,3	1,1	0,2	1,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	0,0	0,2	12,7
9. Región Metrop.	32,0	6,8	3,3	2,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	46,4
10. V Región Oriente	0,0	0,0	2,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	3,3
11. V Región Norte	0,3	2,2	2,9	0,6	0,0	0,5	0,9	0,0	3,7	0,0	0,0	1,3	0,8	13,7
12. V Región Sur	6,5	0,2	1,1	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,1	0,0	1,4	11,6
13. Norte, Sur, Arg.	19,2	1,2	2,5	1,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	24,8
Total general	70,8	19,0	37,4	12,6	6,9	19,3	20,2	9,5	55,2	9,9	16,0	13,7	28,2	319,1

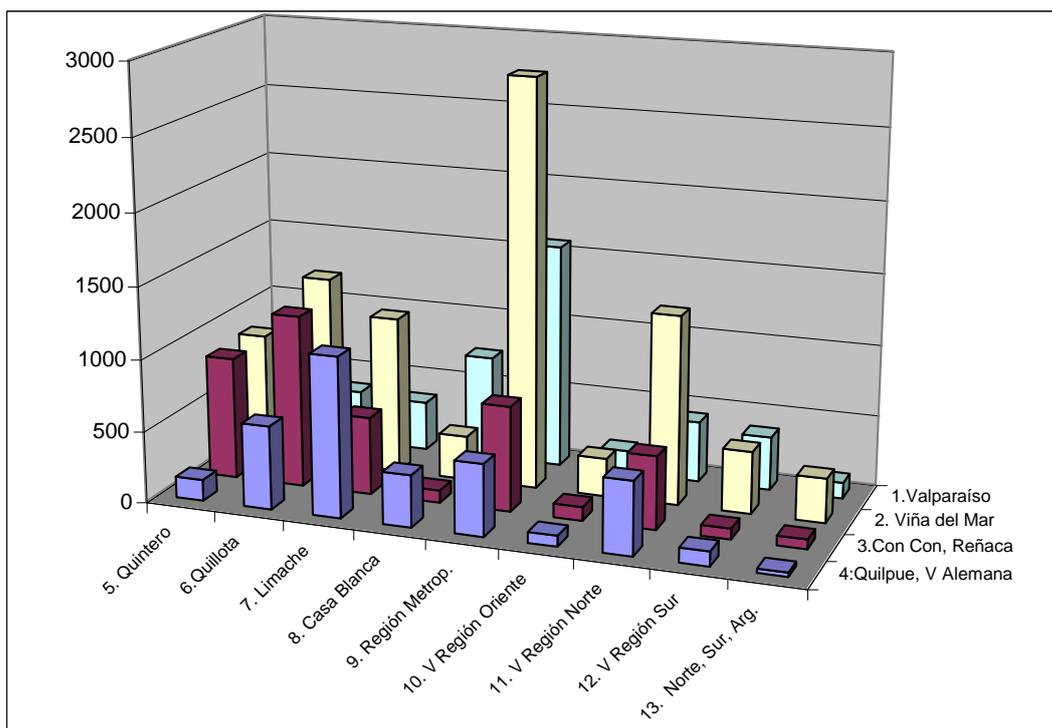
CUADRO Nº 8.5-12
MATRIZ ORIGEN DESTINO POR MACROZONAS, CAMIONES PESADOS PERIODO FESTIVO.

Macro Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
1.Valparaíso	0,0	0,0	0,8	0,0	1,3	1,7	3,5	0,7	5,9	2,6	1,7	1,1	8,7	28,4
2. Viña del Mar	0,0	0,0	2,6	0,0	0,3	3,5	1,0	0,3	1,1	0,0	0,3	0,0	0,0	9,3
3.Con Con, Reñaca	0,8	0,4	2,8	0,8	2,2	2,6	4,7	0,7	1,5	1,7	6,8	0,7	2,8	29,0
4:Quilpue, V Alemana	0,0	0,0	0,8	0,0	0,6	1,3	0,2	0,0	0,1	0,0	0,6	0,1	0,1	4,3
5. Quintero	0,3	0,0	2,2	0,0	0,0	0,4	0,8	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,1	4,6
6.Quillota	0,8	3,2	1,2	2,1	0,5	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	10,9
7. Limache	0,8	0,0	3,7	0,0	0,3	0,3	1,2	0,1	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0	7,4
8. Casa Blanca	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6
9. Región Metrop.	6,6	1,1	1,9	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,2	11,0
10. V Región Oriente	1,6	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,1
11. V Región Norte	6,6	1,0	6,0	1,0	0,0	0,4	0,2	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,1	16,5
12. V Región Sur	0,3	0,3	0,7	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,4	2,6
13. Norte, Sur, Arg.	20,7	0,0	3,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	25,0
Total general	38,8	6,2	29,4	4,7	6,1	10,4	14,1	2,2	10,5	5,1	11,7	2,7	12,7	155,1

CUADRO Nº 8.5-13
DISTRIBUCIÓN DE VIAJES DIARIOS CONURBACIÓN /ZONAS INTERURBANAS, AUTOMÓVILES LIVIANOS.

Macro Zona	5. Quintero	6. Quillota	7. Limache	8. Casa Blanca	9. Región Metrop.	10. V Región Oriente	11. V Región Norte	12. V Región Sur	13. Norte, Sur, Arg.
1. Valparaíso	146	581	1114	362	499	75	508	102	28
2. Viña del Mar	849	1199	542	87	731	96	506	76	67
3. Con Con, Reñaca	873	1330	1095	308	2840	266	1314	433	308
4. Quilpue, V Alemana	257	371	345	727	1571	158	425	375	110

Fuente: Elaboración Propia



CUADRO Nº 8.5-14
DISTRIBUCIÓN DE VIAJES DIARIOS CONURBACIÓN /ZONAS INTERURBANAS, AUTOMÓVILES LIVIANOS, PERÍODO LABORAL.

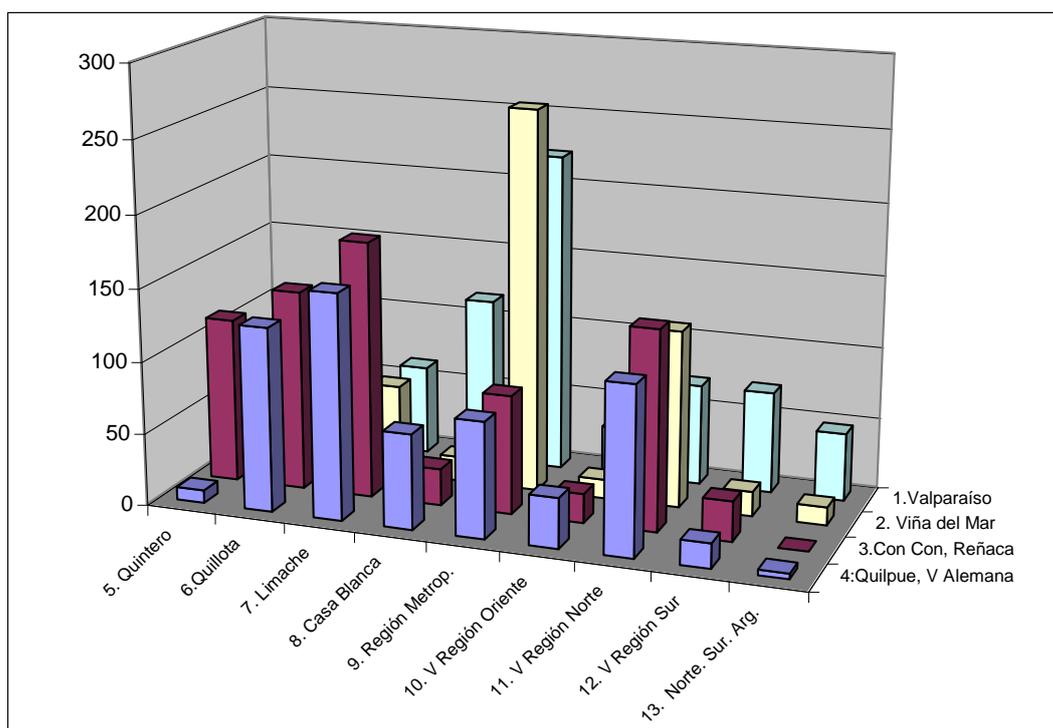
Macro Zona	1. Valparaíso	2. Viña del Mar	3. Con Con, Reñaca	4. Quilpue, V Alemana
5. Quintero	244	1063	946	97
6. Quillota	337	1814	1005	731
7. Limache	348	925	425	1300
8. Casa Blanca	629	390	58	365
9. Región Metrop.	1988	2358	581	518
10. V Región Oriente	156	333	76	85
11. V Región Norte	366	1551	409	356
12. V Región Sur	376	361	62	94
13. Norte, Sur, Arg.	59	161	44	61

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO N° 8.5-15
DISTRIBUCIÓN DE VIAJES DIARIOS CONURBACIÓN /ZONAS INTERURBANAS, CAMIONES SIMPLS.

Macro Zona	5. Quintero	6. Quillota	7. Limache	8. Casa Blanca	9. Región Metrop.	10. V Región Oriente	11. V Región Norte	12. V Región Sur	13. Norte, Sur, Arg.
1. Valparaíso	9,0	127,2	155,4	65,7	79,8	34,6	115,7	17,1	3,7
2. Viña del Mar	113,8	138,3	177,0	25,4	82,0	20,3	137,5	27,7	0,0
3. Con Con, Reñaca	72,2	64,5	62,7	17,1	263,6	13,2	122,4	17,1	12,6
4. Quilpue, V Alemana	52,4	59,1	61,9	115,1	221,6	33,6	70,1	70,3	47,2

Fuente: Elaboración Propia



CUADRO N° 8.5-16
DISTRIBUCIÓN DE VIAJES CONURBACIÓN DIARIOS /ZONAS INTERURBANAS, CAMIONES SIMPLS.

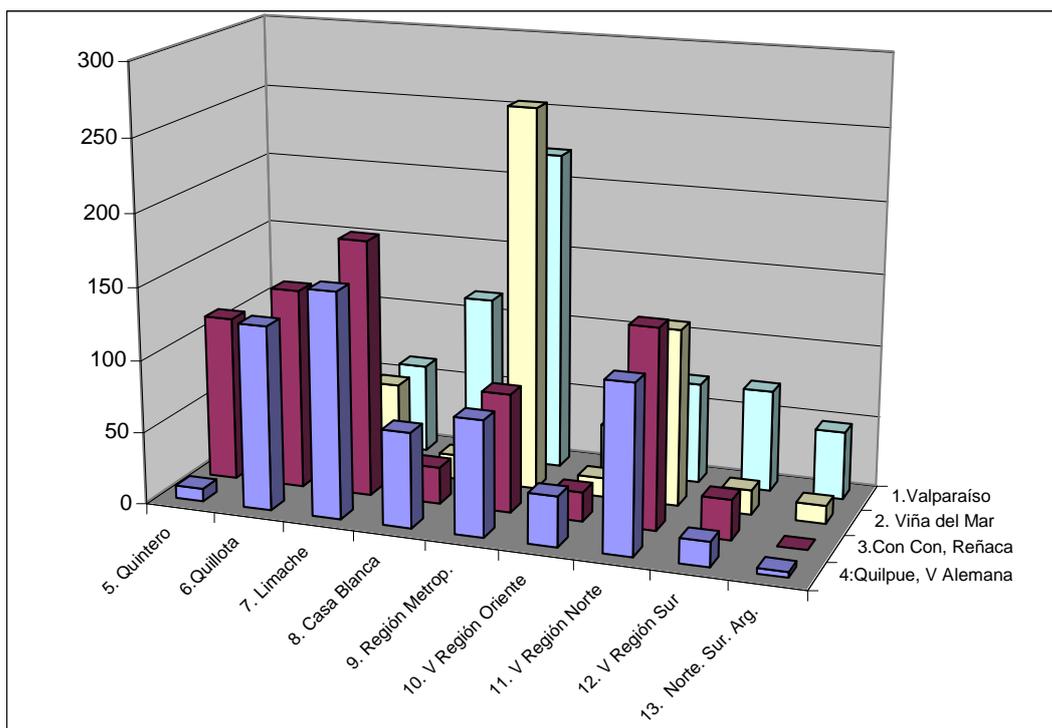
Macro Zona	1. Valparaíso	2. Viña del Mar	3. Con Con, Reñaca	4. Quilpue, V Alemana
5. Quintero	27,5	109,7	127,8	39,4
6. Quillota	56,8	43,0	83,7	75,2
7. Limache	20,6	26,7	254,0	213,5
8. Casa Blanca	26,3	11,3	24,7	38,4
9. Región Metrop.	336,3	245,5	66,3	93,7
10. V Región Oriente	1,9	10,1	34,9	10,8
11. V Región Norte	43,5	72,4	147,9	61,8
12. V Región Sur	42,8	1,6	18,1	46,5
13. Norte, Sur, Arg.	18,8	16,0	18,2	19,9

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO N° 8.5-17
DISTRIBUCIÓN DE VIAJES CONURBACIÓN /ZONAS INTERURBANAS, CAMIONES PESADOS,
PERÍODO LABORAL

Macro Zona	5. Quintero	6.Quillota	7. Limache	8. Casa Blanca	9. Región Metrop.	10. V Región Oriente	11. V Región Norte	12. V Región Sur	13. Norte, Sur, Arg.
1.Valparaíso	10,6	77,4	6,3	13,5	52,0	0,0	56,5	3,9	17,6
2. Viña del Mar	48,4	97,4	193,9	2,9	35,6	50,7	135,3	45,9	89,2
3.Con Con, Reñaca	25,1	68,5	37,9	20,7	116,5	12,6	23,4	6,5	12,8
4:Quilpue, V Alemana	13,3	58,9	53,7	131,8	770,3	98,0	33,6	159,0	368,7

Fuente: Elaboración Propia



CUADRO N° 8.5-18
DISTRIBUCIÓN DE VIAJES CONURBACIÓN /ZONAS INTERURBANAS, CAMIONES PESADOS,
PERÍODO LABORAL

Macro Zona	1. Valparaíso	2. Viña del Mar	3. Con Con, Reñaca	4: Quilpue, V Alemana
5. Quintero	15,8	21,9	59,7	0,0
6. Quillota	10,5	55,6	40,3	35,3
7. Limache	33,3	43,4	270,4	91,1
8. Casa Blanca	154,0	21,3	5,4	25,9
9. Región Metrop.	620,6	132,0	69,9	43,4
10. V Región Oriente	6,2	0,0	51,9	11,1
11. V Región Norte	32,5	46,2	78,0	15,2
12. V Región Sur	123,8	6,9	24,4	0,0
13. Norte, Sur, Arg.	436,7	23,2	58,5	27,4

Fuente: Elaboración Propia

8.5.3 INCORPORACIÓN MODELACIÓN PERÍODO PUNTA LABORAL

El patrón de flujos observado para los viajes suburbanos e interurbanos, indica que no se produce un peak de flujo marcado en el período Punta Mañana, al contrario de lo que se manifiesta en las redes urbanas (en particular la red Estraval). Por esta razón, en un principio no se estimó como relevante para el estudio distinguir un período punta mañana (y/o punta tarde) para separarlo con respecto al período Día Laboral. Sin embargo como se ha reiterado en este estudio, una etapa importante de los viajes suburbanos se realiza en vías pertenecientes a la trama urbana de la conurbación Valparaíso, lo por lo que se puede esperar que las condiciones de modelación de la red (costos de viaje, consumos) sean distintas entre la punta mañana y el resto del día, aún para los usuarios de la red externa a Valparaíso.

Por esta razón, se ha decidido incorporar al modelo Corredor Central la modelación de un período Punta Mañana, que permita considerar en la red las condiciones particulares de operación (congestión, mayores tiempos de viaje en los arcos) que se presentan en la red urbana, y que pueden influir en las decisiones de viaje de los usuarios de la red suburbana, que tienen como origen/destino la conurbación de Valparaíso.

a) Enfoque adoptado

Se calibró el modelo sólo para vehículos livianos. Para camiones simples y pesados se asume que el patrón de viajes en la Punta Mañana es equivalente al resto del día.

Equivalente al método utilizado para los períodos Diario Laboral y Fuera de Punta. Se consolidó la matriz con el método de *máxima verosimilitud*. Las encuestas O/D empleadas en la calibración corresponden al total de encuestas para el período diario laboral.

Los conteos correspondientes a la Punta Mañana en las vías interurbanas fueron obtenidos a partir de la información capturada en los estudios de base. En efecto, las mediciones de flujo de los estudio de base se realizaron a partir de la 8:30 de la mañana, por lo cual los conteos por punto de control fueron calculados directamente de las mediciones.

Los tiempos de viaje asociados a la red urbana fueron obtenidos a partir de la modelación del período punta. Se debe mencionar que la etapa de asignación del modo autos de Estraval ha sido implementada en EMME/2, obteniéndose resultados equivalentes a los que entrega el módulo de asignación de Estraval. Esto permite trabajar con mayor fluidez en el modelo de transporte del Corredor Central, ya que es posible realizar la interacción con la fase urbana de asignación, dentro de una misma plataforma computacional.

Los flujos interurbanos correspondientes a los flujos asignados a la red de los modos camiones simples, pesados y rutas de buses, han sido incluidos como flujos fijos, que descuentan capacidad en la asignación de vehículos livianos, en forma equivalente a al criterio empleado en los otros utiliza los resultados de la asignación del período diurno laboral.

b) Resultados obtenidos

Empleando el método antes descrito se procedió a consolidar las matrices del período punta mañana laboral. En el Cuadro N° 8.5-19 se presenta la comparación entre los flujos observados y los resultados de la calibración, lo que se presenta en forma gráfica en la Figura N° 8.5-5. Finalmente, en la Figura N° 8.5-6 se presenta el flujo de buses modelado en la red vial de la situación actual.

CUADRO N° 8.5-19
DIFERENCIA FLUJOS OBSERVADOS / MODELADOS, PERÍODO PUNTA LABORAL

Punto	Mov	Descripción	Flujo Punta Laboral (veh/hr)		
			Observado	Modelado	Diferencia
1	13	Ruta F-30 Con Con-Quintero	304.6	301.6	-3.0
1	31		212.1	212.6	0.5
2	24	Ruta 60 Sector Colmo	339.2	311.2	-28.0
2	42		225.8	196.0	-29.8
3	13	Ruta 62 Sur Quillota	194.1	233.7	39.6
3	31		129.3	145.8	16.5
4	13	Ruta 62 Sur San Pedro	295.4	290.4	-5.0
4	31		218.6	247.9	29.3
5	24	Entre Limache y Olmue	177.5	169.8	-7.7
5	42		123.7	120.0	-3.7
6	24	Ruta 62 entre Limache y V Alemana	284.7	272.6	-12.1
6	42		186.2	203.2	17.0
7	13	F 50 Sur Bifurcacion Quilpue	43.3	43.5	0.2
7	31		52.7	51.5	-1.2
8	24	Ruta 68 Sector Placilla	314.3	312.2	-2.1
8	42		295.4	291.7	-3.7

FIGURA N° 8.5-5
AJUSTE DE LA CALIBRACIÓN PERÍODO PUNTA LABORAL

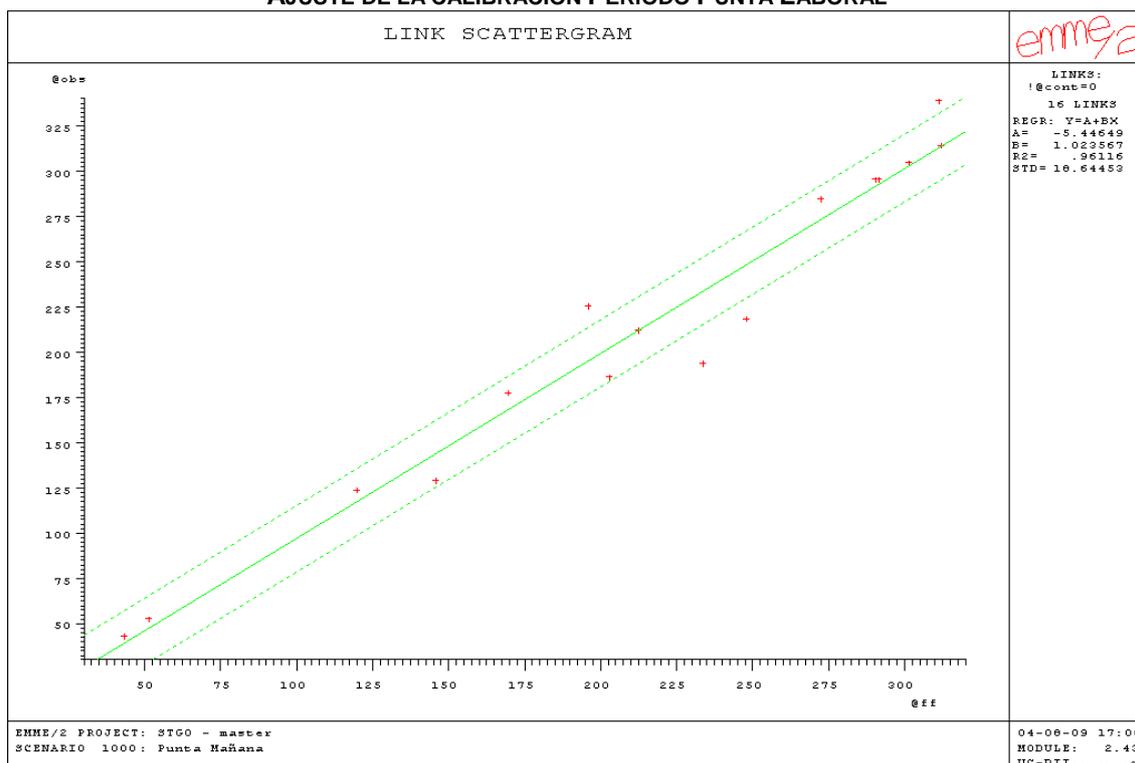
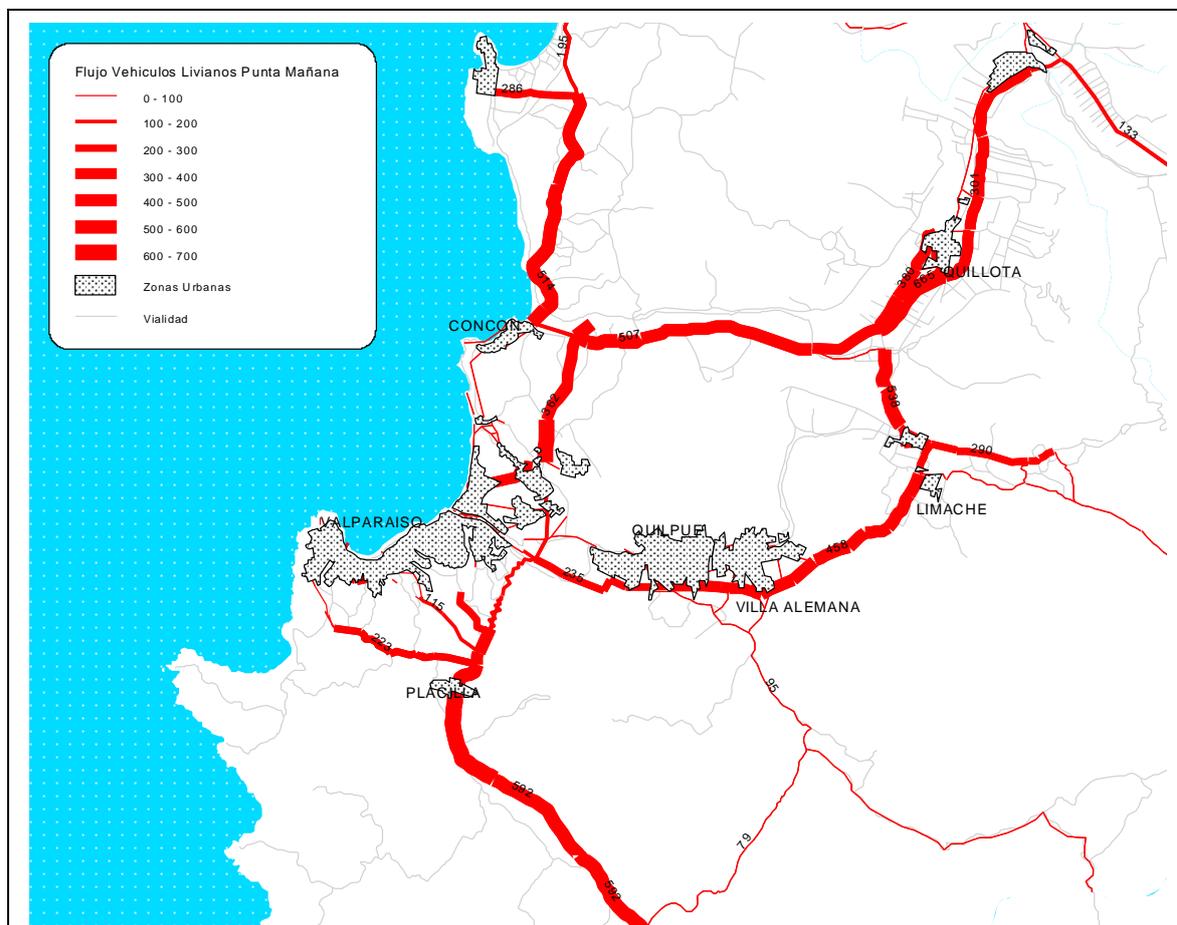


FIGURA N° 8.5-6
FLUJO ASIGNADO SITUACIÓN ACTUAL, VEHÍCULOS LIVIANOS (VEH/HR)



8.6 ESTIMACIÓN DE MODELOS DE DEMANDA

A continuación se presenta la estimación de modelos de demanda para la predicción de viajes en el horizonte de análisis del estudio

El enfoque adoptado considera reconocer la existencia de los siguientes tres tipos de usuarios en el área de estudio:

- ❑ **Viajeros Urbanos:** Aquellos que realizan su viaje entre las comunas comprendidas por el Gran Valparaíso (Valparaíso, Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana). Su viaje es realizado en su totalidad en la trama urbana de la ciudad y están sometidos a una alta congestión. Estos son viajes de frecuencia diaria y que son considerados en la modelación de Estraval, por lo que no serán incorporados en el presente análisis.
- ❑ **Viajeros Suburbanos:** Son aquellos viajes realizados entre todas las zonas comprendidas en el área de estudio (sin incorporar los viajes urbanos). Es decir, en

esta agrupación se considera viajes entre Quillota y Limache, así como viajes entre Quillota y el Gran Valparaíso.

Este es el tipo de usuario en el cual se centra el estudio, los que realizan viajes de una frecuencia menor a la urbana, sin embargo presentan cierto nivel de relación con el Gran Valparaíso, por lo que la frecuencia es mayor a la de los viajes interurbanos.

Parte del desarrollo del viaje es realizado en sector interurbano y una parte importante es realizada al interior de la trama urbana del Gran Valparaíso.

- **Viajes Interurbanos:** Son viajes de larga distancia que provienen de zonas externas al área de estudio y que comparten la vialidad con los otros tipos de viajes. Estos viajes son de frecuencia semanal e incluso mensual o anual.

Estos viajes se representan en forma esquemática en la Figura N° 8.6-1.

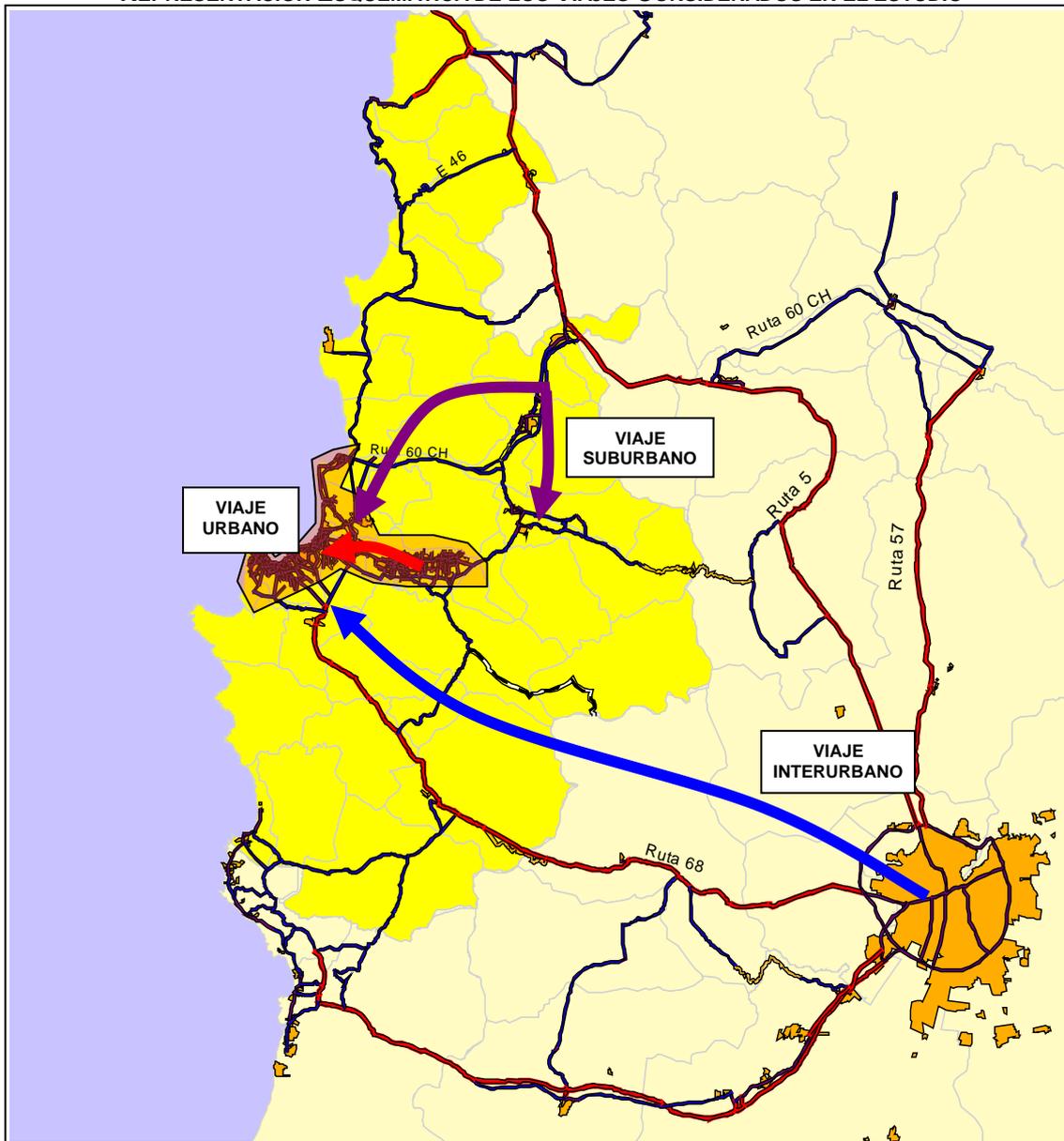
Tal como se indicó, los viajes urbanos serán incorporados empleando para esto los modelos calibrados en el marco del estudio Estraval y presentados en la recopilación de antecedentes. Esto permite construir de vectores de generación y atracción para cada corte temporal, los que son empleados para construir matrices de automóvil para cada corte temporal.

En el caso de los usuarios suburbanos, se construirán modelos de demanda a partir de las matrices de viajes calibradas en el presente capítulo. De manera tal de determinar el crecimiento de los viajes en función del desarrollo urbano y de actividades del área de estudio.

Finalmente, los viajeros interurbanos serán modelados empleando tasas de crecimiento del tráfico, determinadas en función del crecimiento observado en las plazas de peaje del área de estudio.

De esta manera, en el presente capítulo se presenta la estimación de modelos para viajes suburbanos e interurbanos.

FIGURA N° 8.6-1
REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS VIAJES CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO



8.6.1 MODELOS DE DEMANDA DE VIAJES SUBURBANOS

a) Especificación de Modelos

Existen dos enfoques habitualmente empleados en la estimación de modelos de demanda, que permiten relacionar los viajes realizados en el área de estudio con las características de las zonas y el costo de viaje entre ellas.

El primer enfoque consiste en un enfoque secuencial que contempla la construcción de modelos generación, atracción y distribución entrópicos doblemente acotados. Estos modelos permiten explicar la producción y atracción de viajes a partir del desarrollo urbano de cada zona, mientras que la distribución de los viajes es explicada mediante una lógica entrópica, donde el número total de viajes en la matriz es constante.

Estos modelos son tradicionalmente empleados en estudios urbanos, donde los viajes son de alta frecuencia y se encuentran acotados por la realización diaria de actividades. De esta manera, la modelación parte del supuesto que la disminución de los costos en la red implican una modificación en la estructura de la matriz de viajes, sin embargo el total de viajes permanece constante. Esto es sensato si se considera que los viajes urbanos son mayoritariamente de trabajo y estudio, por lo que la disminución de los costos en la red no motivaría que los usuarios viajaran más veces a estudiar o trabajar. Sin embargo en el caso suburbano e interurbano, los viajes de trabajo se derivan del intercambio comercial entre actividades, por lo que la disminución en los costos permitiría una mayor relación entre zonas, lo que no podría ser explicado mediante un modelo acotado.

De esta manera, en estudios de carácter interurbano, se emplean modelos conjuntos de generación-atracción y distribución, conocidos como modelos de demanda directa, los que permiten explicar como un todo el proceso antes descrito, evitando la imposición de restricciones a la construcción de la matriz.

Sin embargo, existe otra razón que resulta fundamental en la decisión de estimar modelos de demanda directa en estudios de carácter suburbano e interurbano, la que tiene relación con la calidad de la información disponible para la estimación.

La estimación de modelos puros de generación y atracción, sólo es posible cuando se dispone de información completa sobre los viajes realizados en el área de estudio, lo que en estudios urbanos es recogido a través de encuestas origen-destino a hogares. De esta manera, se conoce todos los viajes realizados entre las zonas de estudio y además se conoce también los viajes internos dentro de cada zona, los que son tratados de manera aislada.

Sin embargo, en estudios de mayor escala (regionales o intercomunales), no es posible realizar una encuesta a hogares, por lo que las matrices se estiman a partir de encuestas en carretera y conteos de tránsito. Si bien las matrices son adecuadas para la cuantificación de la demanda y determinación de beneficios, la matriz es incompleta para la estimación de modelos de generación y atracción, por lo que se podría obtener fuertes sesgos en los estimadores.

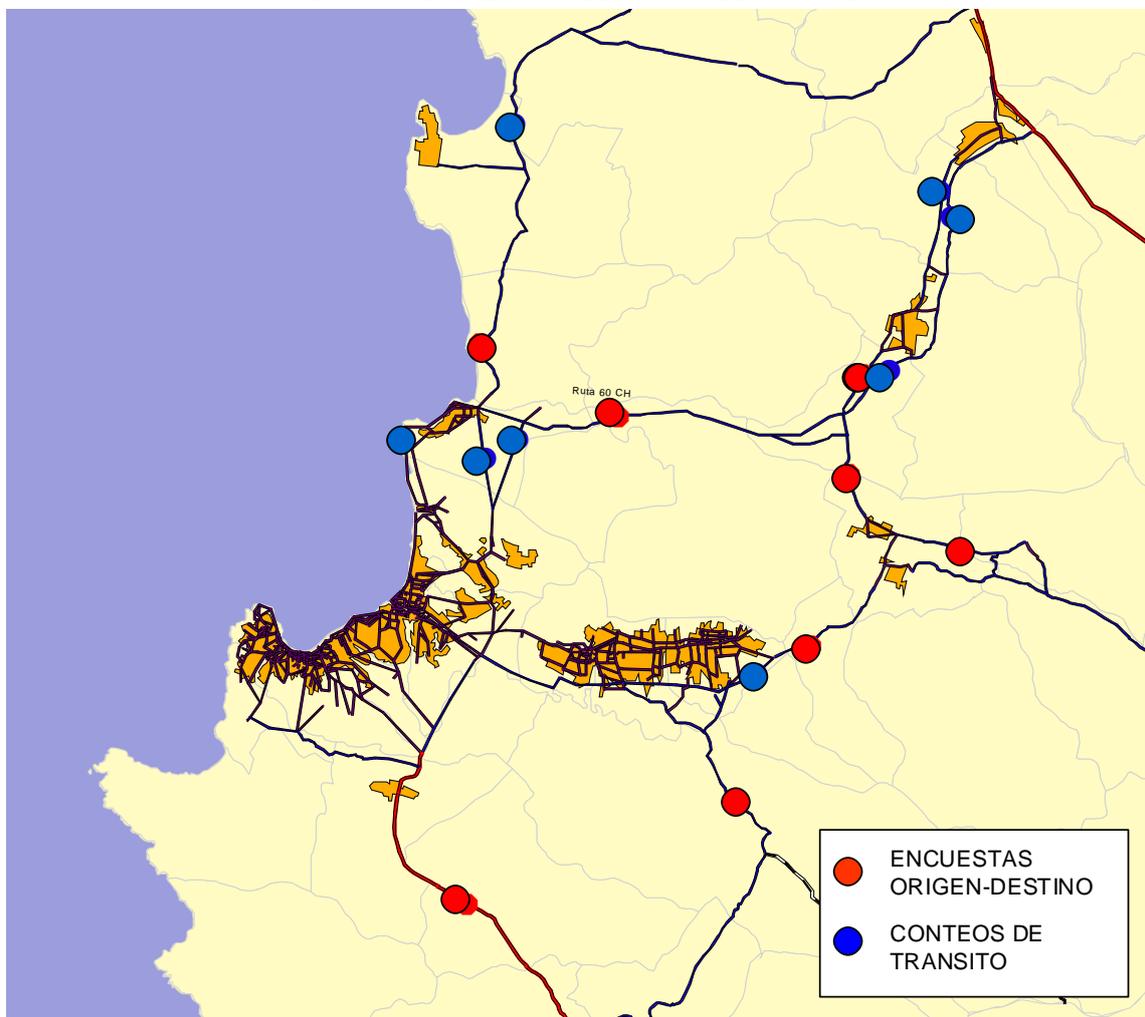
Para ilustrar este hecho, se presenta en la Figura N° 8.6-2 la ubicación de los puntos de encuesta y conteos realizados en este estudio. Se puede apreciar en dicha figura que las encuestas y conteos de tránsito presentan una muy buena cobertura y permiten controlar la casi totalidad de los viajes realizados en el área de estudio. Sin embargo, existen algunos pares origen-destino que son relevantes que no son muestreados y pueden sesgar la estimación de modelos de demanda. A modo de ejemplo, se puede apreciar que la modelación no permitiría obtener una buena estimación de la totalidad de los viajes generados por Calera, ya que no se posee información al oriente de esta comuna. Lo mismo sucede con los viajes realizados entre la Cruz-Quillota, La Cruz-Calera, San Pedro-Limache, Limache-Olmué, por mencionar algunos pares, lo que permite tener información completa de estas zonas.

De esta manera, si se realiza la estimación de modelos sin considerar esta falta de información, se relacionaría directamente las características de las zonas con un total de viajes que en algunos casos puede ser el correcto, sin embargo, en otros puede estar fuertemente sub-estimado. Naturalmente, esto conduciría a introducir un sesgo importante a nivel de la generación y atracción de viajes, el que no podría ser corregido por la distribución al ser acotada en el total de viajes.

En contrapartida, la estimación de modelos de demanda directa se realiza sólo con aquellos pares origen-destino en los que se dispone de información. Por lo que lejos de ser un problema, el modelo permitiría “rellenar” la matriz en aquellas celdas con ausencia de información.

Tomando en cuenta lo antes expuesto, en el presente estudio se ha decidido realizar la estimación de modelos de demanda directa, de manera de evitar sesgos en la predicción.

FIGURA N° 8.6-2
UBICACIÓN ESQUEMÁTICA DE PUNTOS DE CONTROL



b) Modelos de demanda directa

Los modelos de demanda directa intentan explicar el número de viajes entre cada par de zonas, pero con a diferencia de los modelos entrópicos doblemente acotados no consideran que los vectores origen y destino son conocidos. Interesa, por la tanto, determinar el volumen de viajes para cada celda de la matriz, a partir de una relación funcional dependiente de la calidad de la conexión (servicios de transporte disponibles para el par O/D) y las características de las zonas origen y destino. Estos modelos también se denominan “conjuntos” pues calculan simultáneamente la generación, atracción y distribución de viajes.

Este tipo de modelos presenta ventajas de sencillez en la calibración, no requieren de modelos de equilibrio y la predicción es bastante simple. Existe una diversidad de formas funcionales posibles de ser empleadas, muchas de ellas en forma multiplicativa, considerando variables mudas para describir particularidades en la información.

La formulación general del modelo intenta determinar los viajes (T_{ij}) entre las zonas i y j , a través de una función g que relaciona los niveles de actividad en el origen y en el destino (Aij_a) y las utilidades de viajar entre dichas zonas, denotado por U_{ij} (ver Gaudry et al, 1994):

$$T_{ij} = g \{ Aij_{a1}, \dots, Aij_{as}, U_{ijm} \}$$

Una especificación frecuente para este tipo de modelos es del tipo gravitacional, cuya expresión es la siguiente:

$$T_{ij} = \beta_0 \cdot Aij_{a1}^{\beta_1} \cdot \dots \cdot Aij_{as}^{\beta_s} \cdot U_{ij}^{\beta_m} u_{ij} \quad 8.6-1$$

donde, los β_i son parámetros a estimar y u_{ij} es un término de error.

En el presente estudio se dispone de información sobre el desarrollo urbano y actividades en cada una de las zonas al interior del área de estudio. De esta manera, es posible emplear en la estimación las siguientes variables explicativas:

- VIVi : Viviendas localizada en la zona i
- VEei : Viviendas del estrato e , localizadas en la zona i , donde los estratos considerados son los siguientes:
 - VE1 : ABC1 (Estrato de ingresos altos)
 - VE2 : C2 (Estrato de ingresos altos)
 - VE3 : C3 (Estrato de ingresos medios)
 - VE4 : D (Estrato de ingresos bajos)
 - VE5 : E (Estrato de ingresos bajos)
- POBi : Población localizada en la zona i
- COMi : Metros cuadrados destinados a comercio en la zona i
- SERi : Metros cuadrados destinados a servicios en la zona i
- INDi : Metros cuadrados destinados a industrias en la zona i
- MATi : Metros cuadrados destinados a establecimientos de enseñanza en la zona i
- SUPi : Total de superficie destinada a actividades (COMi+SERi+INDi+MATi)

SUPCi : Total de superficie destinada a Comercio, Servicio y Matriculas (COMi+SERi+MATi)

SCi : Total de superficie destinada a Comercio y Servicio (COMi+SERi)

Cij : Costo generalizado de transporte entre la zona i y j, equivalente a la suma directa del tiempo y el peaje, expresados en unidades monetarias.

En el caso de los vehículos livianos, el costo generalizado corresponde a la suma del tiempo de viaje valorizado en unidades monetarias y el peaje. De esta manera, los costos asociados a cada estrato son los siguientes:

- $C1ij = \text{Tiempo Viaje} * 36 + \text{Peaje}$
- $C2ij = \text{Tiempo Viaje} * 42 + \text{Peaje}$
- $C3ij = \text{Tiempo Viaje} * 119 + \text{Peaje}$

En el caso de buses, se considera el costo como la suma entre la tarifa del modo y el tiempo total de viaje en el modo, es decir, el costo tiene la siguiente expresión:

- $C_{Busij} = \text{Tiempo Viaje} * 10 + \text{Tarifa}$

En el caso de los camiones, se considera el costo como la suma directa entre el costo de combustible, los costos de operación y el peaje, es decir, el costo tiene la siguiente expresión:

- $Cij = \text{Consumo de Combustible} + \text{Costo de Operación} + \text{Peaje}$

Tomando en cuenta la existencia de relaciones funcionales entre las distintas zonas del área de estudio, se decidió incorporar variables mudas asociadas a cada zona, las que son incorporadas explícitamente en el modelo. Las variables mudas consideradas son las siguientes:

- DVA : Dummy para viajes con origen o destino en Valparaíso o Viña del Mar
- DLO : Dummy para viajes con origen o destino en Limache y Olmué
- DQN : Dummy para viajes con origen o destino en Quintero y el Norte
- DQC : Dummy para viajes con origen o destino en Quillota, La Cruz y Calera
- DCO : Dummy para viajes con origen o destino en Concón
- DCA : Dummy para viajes con origen o destino en Casablanca
- DPV : Dummy para viajes entre Puchuncaví y Valparaíso
- D546 : Dummy para viajes entre la zona 5 de Puchuncaví y la zona 46 de Valparaíso

Empleando las variables antes mencionadas se calibró modelos mediante mínimos cuadrados ordinarios, empleando el software de estimación EVIEWS 4.0. Tomando en cuenta la heterocedasticidad de los errores, se aplicó el test de residuos de White, el que permite corregir los t- estadísticos del modelo.

Normalmente estos modelos son estimados empleando una transformación logarítmica, lo que simplifica enormemente el proceso de calibración. Sin embargo, como ha sido señalado en otros estudios, esta transformación tiene como consecuencia que los modelos presentan sesgos en la estimación lo que redundaría en un sub-reporte de los viajes. Tomando en cuenta esta limitación, se decidió estimar directamente empleando las facilidades del software EVIEWS.

De esta manera, las especificaciones funcionales genéricas para la estimación de modelos fueron las siguientes:

$$T_{ij} = K \cdot (VIV_i \cdot VIV_j)^{\theta_1} \cdot (COM_i \cdot COM_j)^{\theta_2} \cdot (SER_i \cdot SER_j)^{\theta_3} \cdot (IND_i \cdot IND_j)^{\theta_4} \cdot (MAT_i \cdot MAT_j)^{\theta_5} \cdot (C_{ij})^{\beta \cdot \sum_n \beta_n \cdot \delta_{ij}^n}$$

$$T_{ij} = K \cdot (POB_i \cdot POB_j)^{\theta_1} \cdot (COM_i \cdot COM_j)^{\theta_2} \cdot (SER_i \cdot SER_j)^{\theta_3} \cdot (IND_i \cdot IND_j)^{\theta_4} \cdot (MAT_i \cdot MAT_j)^{\theta_5} \cdot (C_{ij})^{\beta \cdot \sum_n \beta_n \cdot \delta_{ij}^n}$$

$$T_{ij} = K \cdot (VIV_i \cdot VIV_j)^{\theta_1} \cdot (SUP_i \cdot SUP_j)^{\theta_6} \cdot (C_{ij})^{\beta \cdot \sum_n \beta_n \cdot \delta_{ij}^n}$$

$$T_{ij} = K \cdot (POB_i \cdot POB_j)^{\theta_1} \cdot (SUP_i \cdot SUP_j)^{\theta_6} \cdot (C_{ij})^{\beta \cdot \sum_n \beta_n \cdot \delta_{ij}^n}$$

donde,

- T_{ij} : Corresponden a los viajes entre el par i,j
- $K, \theta_n, \beta, \beta_n$: Son parámetros a estimar
- δ_{ij}^n : Corresponde a la variable muda n antes especificadas, asociada al par origen-destino i,j

La calibración, considero un proceso exploratorio en el cual se analizaron las variables explicativas y las variables a incluir en cada especificación. A continuación se presentan los resultados de la estimación para cada tipo de vehículo considerado.

□ **Modelos de Vehículos Livianos**

A continuación se presentan los modelos estimados para cada uno de los siguientes tipos de vehículos analizados:

- ✓ Período Diurno Laboral - Usuarios de vehículos livianos de estrato bajo
- ✓ Período Diurno Laboral - Usuarios de vehículos livianos de estrato medio
- ✓ Período Diurno Laboral - Usuarios de vehículos livianos de estrato alto
- ✓ Período Diurno Festivo - Usuarios de vehículos livianos de estrato bajo
- ✓ Período Diurno Festivo - Usuarios de vehículos livianos de estrato medio
- ✓ Período Diurno Festivo - Usuarios de vehículos livianos de estrato alto

Tomando en cuenta que los períodos analizados son diurnos, la matriz de viajes calibrada es relativamente simétrica, puesto todos los usuarios que van en un sentido, también debieran hacerlo en el sentido inverso.

De esta manera, los viajes debieran ser explicados por las mismas variables en el origen como en el destino, es decir, si un viaje es atraído por una actividad productiva, el viaje de retorno debiera ser generado por esta misma actividad. Esto tiene como resultado que los modelos debieran ser calibrados considerando como variables explicativas las actividades tanto en el origen como en el destino. Si no se incorporaran las variables en el origen y el destino, los parámetros serían de difícil justificación.

En el Cuadro N° 8.6-1 se presenta un resumen de los mejores modelos estimados, indicando las variables consideradas, los indicadores de ajuste. Mientras que en el Cuadro N° 8.6-2 al

Cuadro N° 8.6-7 se presenta una selección de modelos estimados, donde se presenta en gris el modelo seleccionado para la predicción.

El proceso de estimación consideró la determinación de modelos que consideren la totalidad de las variables explicativas, de forma tal de seleccionar aquellas que resultan significativas y de signos correctos. A partir de esta especificación general se eliminan aquellas variables que presentan baja significancia de forma tal de determinar su implicancia en la especificación general. Como resultado de este proceso se selecciona el modelo de mejores indicadores al interior de cada categoría.

En términos generales, la estimación indica que el costo de transporte es una de las variables que permite explicar de mejor forma los viajes realizados en el área de estudio. Esta variable resulta significativa y de signo correcto en todas las especificaciones probadas. El valor del parámetro oscila entre -3.4 y -1.4, observándose una leve tendencia a disminuir la incidencia del parámetro a medida que aumenta el ingreso. Se debe notar que esto se encuentra directamente relacionado con el hecho que los usuarios de altos ingresos poseen un mayor valor del tiempo lo que implica que la magnitud de los costos es mayor frente a los de bajos ingresos, de esta manera la impedancia al costo también es escalado.

Otra variable que resulta estable en los modelos corresponde al producto entre el número de viviendas en el origen y en el destino. Esta variable resulta significativa y de signo adecuado. Alternativamente se incorporó en el modelo de estrato alto de período festivo la variable población lo que permitió mejorar los indicadores de ajuste de dicha categoría. De la misma manera, en el estrato bajo y medio de período diurno laboral, se logró incorporar el número de viviendas asociadas a cada estrato, lo que mejoró la estimación.

No fue posible obtener indicadores apropiados para los parámetros de actividades productivas por separado. Si bien en muchos casos es posible obtener parámetros adecuados para algunas de las actividades (principalmente comercio o servicios), se privilegió incluir los modelos cuya variable explicativa es la totalidad de la superficie destinada a comercio, servicios, industria y matrículas.

La incorporación de variables mudas, permite ajustar la estimación a las particularidades de cada zona, lo que permitió obtener buenos ajustes en la estimación. En efecto los indicadores de ajuste en todos los casos superan el 59%.

CUADRO N° 8.6-1
MODELOS SELECCIONADOS, VARIABLES EMPLEADAS E INDICADOR DE AJUSTE

Periodo	Diurno Laboral			Diurno Festivo		
Tipo de Usuario	Estrato Bajo	Estrato Medio	Estrato Alto	Estrato Bajo	Estrato Medio	Estrato Alto
Modelo Escogido	vsp1a1_m004	vsp1a2_m004	vsp1a3_m004	vsp2a1_m005	vsp2a2_m004	vsp2a23_m002
Constante			x	x		
VIVi * VIVj						x
POBi*POBj						
VEei*VEej	x	x			x	
COMi*COMj						
SERi*SERj						
INDi*INDj						
MATi*MATj						
SUPi*SUPj	x	x	x			x
Cij	x	x	x	x	x	x
Variables Mudadas						
DVA	x	x	x	x	x	
DQN	x	x	x	x	x	x
DQC	x	x	x		x	x
DLO	x	x	x	x	x	
DCO	x	x	x			
DCA						
DPV						
R2 adj	0.74	0.77	0.66	0.59	0.55	0.59

CUADRO Nº 8.6-2
MODELO DE DEMANDA DIRECTA
VEHÍCULOS LIVIANOS ESTRATO BAJO – PERÍODO DIURNO LABORAL

Variable	vsp1a1_m001		vsp1a1_m002		vsp1a1_m003		vsp1a1_m004		vsp1a1_m005	
	Estimador	t-est	Estimador	t-est	Estimador	t-est	Estimador	t-est	Estimador	t-est
Constante	0.00443	0.63	0.01392	0.60	0.0158	0.63				
VIVI * VIVj	1.01975	8.62								
POBi*POBj			0.77527	7.35	0.76216	7.77				
(VE4i+VE5i)* (VE4j+VE5j)							0.90389	16.19	0.38925	5.98
COMi*COMj	-0.03765	-1.43	-0.00766	-0.27						
SERi*SERj										
INDi*INDj										
MATi*MATj										
SUPi*SUPj					-0.00036	-0.01	0.04915	1.99	0.49952	8.86
Cij	-1.69125	-9.86	-1.53755	-8.57	-1.53724	-8.58	-2.93726	-18.61	-3.16562	-16.16
Variables Mudas										
DVA	-0.01454	-0.57	-0.00762	-0.26	-0.00683	-0.23	0.23457	6.94	0.33297	7.11
DQN							0.35188	12.47	0.4412	11.02
DQC							0.27409	12.35	0.38482	10.50
DLO							0.29397	8.82	0.42296	9.57
DCO							0.25131	7.49	0.36524	7.92
DCA										
DPV										
R2	0.49		0.42		0.42		0.78		0.75	
R2 adj	0.48		0.41		0.41		0.78		0.74	
Log likelihood	-420		-432		-432		-341		-356	
Observaciones	184		184		184		184		184	

CUADRO Nº 8.6-3
MODELO DE DEMANDA DIRECTA
VEHÍCULOS LIVIANOS ESTRATO MEDIO – PERÍODO DIURNO LABORAL

Variable	vsp1a2_m001		vsp1a2_m002		vsp1a2_m003		vsp1a2_m004		vsp1a2_m005	
	Estimador	t-est	Estimador	t-est	Estimador	t-est	Estimador	t-est	Estimador	t-est
Constante	1.3E-08	0.28	5.9E-05	0.57	0.00023	0.49				
VIVI * VIVj	0.72908	4.07	0.62904	4.79			0.62758	6.13		
POBi*POBj					0.73627	6.66				
VE3i*V3j									0.79674	7.94
COMi*COMj	-0.66121	-2.56								
SERi*SERj	1.02484	3.00	0.38787	2.41						
INDi*INDj	0.16911	1.37								
MATi*MATj	0.47808	2.55	0.30506	2.29						
SUPi*SUPj					0.32241	3.01	0.35612	4.53	0.36034	5.45
Cij	-2.131	-7.83	-2.01788	-9.43	-1.90869	-8.85	-3.34796	-15.56	-3.40189	-15.73
Variables Mudas										
DVA	-0.06882	-1.24	-0.04359	-1.13	-0.00456	-0.12	0.32855	7.79	0.28922	8.25
DQN							0.43922	11.46	0.41528	13.89
DQC							0.32993	10.75	0.27164	11.73
DLO							0.41755	9.72	0.35283	10.34
DCO							0.26301	5.80	0.25139	6.40
DCA										
DPV										
R2	0.53		0.57		0.46		0.74		0.78	
R2 adj	0.52		0.56		0.45		0.72		0.77	
Log likelihood	-440		-433		-453		-390		-373	
Observaciones	178		178		178		178		178	

CUADRO Nº 8.6-4
MODELO DE DEMANDA DIRECTA
VEHÍCULOS LIVIANOS ESTRATO ALTO – PERÍODO DIURNO LABORAL

Variable	vsp1a3_m001		vsp1a3_m002		vsp1a3_m003		vsp1a3_m004		vsp1a3_m005	
	Estimador	t-est								
Constante	0.00117	0.49	0.00208	0.50	0.06592	0.60	0.00279	0.52	0.5294	4.86
VIVi * VIVj	0.60227	4.02	0.67893	4.12			0.66865	4.88		
POBi*POBj					0.43042	3.47				
(VE1i+VE2i)*(VE1j+VE2j)					0.21708	1.99				
COMi*COMj	-0.03936	-0.23								
SERi*SERj	0.41868	2.18	0.2634	1.74						
INDi*INDj	0.14163	2.91								
MATi*MATj	-0.08364	-3.23								
SUPi*SUPj							0.26249	2.40	0.36432	3.89
Cij	-1.67329	-7.00	-1.50969	-5.71	-1.39191	-5.21	-1.61981	-6.14	-2.72698	-10.75
Variables Mudadas										
DVA			0.02811	0.75	0.05467	1.50	0.0359	1.14	0.22488	6.02
DQN									0.30639	8.27
DQC									0.23834	6.87
DLO									0.24588	6.61
DCO									0.18516	4.37
DCA										
DPV										
R2	0.50		0.42		0.36		0.44		0.69	
R2 adj	0.47		0.40		0.33		0.42		0.66	
Log likelihood	-80		-87		-91		-85		-58	
Observaciones	90		90		90		90		90	

CUADRO Nº 8.6-5
MODELO DE DEMANDA DIRECTA
VEHÍCULOS LIVIANOS ESTRATO BAJO – PERÍODO DIURNO FESTIVO

Variable	vsp2a1_m001		vsp2a1_m002		vsp2a1_m003		vsp2a1_m004		vsp2a1_m005	
	Estimador	t-est								
Constante	0.184556	0.48	0.096182	0.52	1.64E+09	0.34	1.76E+09	0.49	0.936194	14.51
VIVi * VIVj	0.188302	1.30	0.063823	0.50			2.160904	8.05		
POBi*POBj					1.118409	5.87				
(VE4i+VE5i)*(VE4j+VE5j)										
COMi*COMj	-0.117587	-0.43								
SERi*SERj	-0.114124	-0.36								
INDi*INDj	-0.032022	-0.79								
MATi*MATj	0.807758	4.76	0.67448	5.55						
SUPi*SUPj					-0.216911	-5.53	-0.205893	-6.95		
Cij	-1.508133	-6.01	-1.44871	-6.30	-6.812893	-6.60	-8.776368	-8.59	-2.334749	-13.14
Variables Mudadas										
DVA			-0.075356	-1.63	-0.305668	-0.39	-0.749563	-2.23	-0.111474	-5.28
DQN							0.294424	3.61	0.115668	5.97
DQC							0.047293	1.26		
DLO							-0.811273	-8.92	-0.136041	-4.75
DCO							-0.541446	-6.33		
DCA										
DPV										
R2	0.43		0.43		0.34		0.79		0.60	
R2 adj	0.41		0.42		0.32		0.78		0.59	
Log likelihood	-607		-607		-622		-505		-419	
Observaciones	206		206		206		206		206	

CUADRO Nº 8.6-6
MODELO DE DEMANDA DIRECTA
VEHÍCULOS LIVIANOS ESTRATO MEDIO– PERÍODO DIURNO FESTIVO

Variable	vsp2a2_m001		vsp2a2_m002		vsp2a2_m003		vsp2a2_m004		vsp2a2_m005	
	Estimador	t-est								
Constante	0.317518	0.85	0.057451	0.99	0.061344	1.01				
VIVi * VIVj	0.858865	8.76	0.866329	9.76	0.849316	10.01	0.642975	11.83		
POBi*POBj									0.823942	13.17
VE3i*V3j										
COMi*COMj	-0.007966	-0.19								
SERi*SERj	-0.051685	-1.99								
INDi*INDj	0.097193	3.41								
MATi*MATj	-0.027029	-1.31								
SUPi*SUPj			-0.012101	-0.56	-0.003617	-0.16	0.025965	1.38		
Cij	-1.977717	-12.12	-1.676003	-12.14	-1.665183	-12.29	-1.697776	-12.09	-1.774497	-11.45
Variables Mudadas										
DVA	1.201033	6.14	0.925573	6.88	0.918611	6.94	0.041167	1.70	0.063563	2.58
DQN							0.071246	2.87	0.104333	4.43
DQC							0.092131	3.66	0.085693	3.75
DLO							0.101564	3.77	0.122595	4.52
DCO										
DCA										
DPV										
R2	0.58		0.53		0.53		0.56		0.56	
R2 adj	0.56		0.52		0.52		0.54		0.55	
Log likelihood	-431		-441		-441		-435		-435	
Observaciones	202		202		202		202		202	

CUADRO Nº 8.6-7
MODELO DE DEMANDA DIRECTA
VEHÍCULOS LIVIANOS ESTRATO ALTO– PERÍODO DIURNO FESTIVO

Variable	vsp2a3_m001		vsp2a3_m002		vsp2a3_m003		vsp2a3_m004		vsp2a3_m005	
	Estimador	t-est								
Constante	0.971174	0.40	192.3784	0.53	83.2658	0.52				
VIVi * VIVj	0.409677	3.00	0.161846	1.21	0.107022	1.16	0.297073	3.78	0.489559	5.83
POBi*POBj										
(VE1i+VE2i)* (VE1j+VE2j)										
COMi*COMj	0.367311	2.97								
SERi*SERj	-0.048468	-1.36								
INDi*INDj	0.218603	3.79	0.275801	4.85						
MATi*MATj	-0.120667	-5.75								
SUPi*SUPj			-0.063638	-0.66	0.245889	4.23	0.375376	6.78	0.210106	4.98
Cij	-2.060279	-6.60	-1.52609	-5.76	-1.435098	-5.72	-1.688842	-6.62	-1.465092	-8.76
Variables Mudadas										
DVA	1.946189	2.84	2.338208	3.11	1.732257	3.05				
DQN							0.099361	4.14	0.057131	5.61
DQC									-0.094669	-2.25
DLO										
DCO							0.04067	1.70		
DCA										
DPV										
R2	0.54		0.38		0.36		0.47		0.60	
R2 adj	0.51		0.36		0.34		0.45		0.59	
Log likelihood	-165		-182		-184		-168		-152	
Observaciones										

□ **Modelos de Buses**

A continuación se presentan los modelos estimados para buses, en el período diurno laboral y diurno festivo.

En el Cuadro N° 8.6-8 y Cuadro N° 8.6-9 se presenta una selección de modelos estimados para el período diurno laboral y diurno festivo, respectivamente, señalando en gris el modelo seleccionado para la predicción.

Al igual que en el caso de vehículos livianos, el proceso de estimación consideró la determinación de modelos que consideren la totalidad de las variables explicativas, de forma tal de seleccionar aquellas que resultan significativas y de signos correctos. A partir de esta especificación general se eliminan aquellas variables que presentan baja significancia de forma tal de determinar su implicancia en la especificación general. Como resultado de este proceso se selecciona el modelo de mejores indicadores al interior de cada categoría.

La estimación permite obtener en todos los casos indicadores satisfactorios para el parámetro asociado al costo, el que resulta negativo y altamente significativo. Otra variable que resulta estable en los modelos corresponde al producto entre el número de viviendas en el origen y en el destino, la que entrega mejores indicadores globales que el emplear la variable población.

No fue posible obtener indicadores apropiados para los parámetros de actividades productivas por separado. De esta manera, al igual que en el caso anterior, se privilegió incluir los modelos cuya variable explicativa es la totalidad de la superficie destinada a comercio, servicios, industria y matrículas.

Los modelos obtenidos presentan un muy buen ajuste, con indicadores que superan el 80% en período festivo y del 64% en período laboral.

CUADRO N° 8.6-8
MODELO DE DEMANDA DIRECTA
BUSES – PERÍODO DIURNO LABORAL

Variable	vsp1bu_m001		vsp1bu_m002		vsp1bu_m003		vsp1bu_m004		vsp1bu_m005	
	Estimador	t-est								
Constante	0.016565	0.48	0.0000506	0.56						
VIVi * VIVj	0.075092	0.93			0.450873	10.29	0.366577	8.37	0.402515	8.87
POBi*POBj			0.763197	10.93						
COMi*COMj	-0.16794	-1.82								
SERi*SERj	0.283428	2.30								
INDi*INDj	-0.055697	-1.26								
MATi*MATj	0.461024	5.31								
SUPi*SUPj			-0.00965	-2.30	-0.011575	-2.34				
Cij	-0.724046	-5.35	-0.604915	-3.99	-1.105411	-7.56	-0.982644	-7.12	-0.98107	-7.60
Variables Mudas										
DVA	1.030367	6.13	1.303394	7.92	1.934376	7.27	0.13503	7.13	0.135732	7.26
DQN										
DQC							0.091194	4.72	0.111042	6.09
DLO							0.137542	6.45	0.160412	8.15
DCO										
DCA										
DPV										
R2	0.67		0.62		0.52		0.63		0.64	
R2 adj	0.66		0.61		0.51		0.62		0.63	
Log likelihood	-459		-472		-489		-469		-468	
Observaciones	160		160		160		160		160	

**CUADRO N° 8.6-9
MODELO DE DEMANDA DIRECTA
BUSES – PERÍODO DIURNO FESTIVO**

Variable	vsp1bu_m001		vsp1bu_m002		vsp1bu_m003		vsp1bu_m004		vsp1bu_m005	
	Estimador	t-est								
Constante	0.023293	0.37	0.004333	0.37	0.001071	0.43				
VIVi * VIVj	0.004399	0.05	0.705066	5.65	0.77975	6.63	0.352716	5.19	0.591319	10.95
POBi*POBj										
COMi*COMj	-0.221136	-1.31								
SERi*SERj	0.580266	3.02								
INDi*INDj	-0.091409	-1.48								
MATi*MATj	0.321778	2.55								
SUPi*SUPj							-0.003848	-0.44		
Cij	-0.783589	-4.58	-0.85226	-3.53	-0.841055	-3.81	-0.834856	-4.49	-1.497791	-9.59
Variables Mudadas										
DVA	0.830028	4.32	0.028984	0.95			0.140924	3.80	0.143313	7.69
DQN							0.015943	0.34	0.090119	5.87
DQC							0.110389	2.78	0.120218	7.12
DLO							0.152574	3.53	0.175947	9.31
DCO							-0.040693	-0.47	-0.173247	-3.42
DCA										
DPV										
R2	0.77		0.44		0.44		0.58		0.84	
R2 adj	0.75		0.42		0.42		0.55		0.83	
Log likelihood	-270		-314		-314		-300		-254	
Observaciones	97		97		97		97		97	

❑ **Modelos de Camiones**

A continuación se presentan los modelos estimados para camiones simples y pesados, en el período diurno laboral y diurno festivo.

En el Cuadro N° 8.6-10 al Cuadro N° 8.6-13 se presenta una selección de modelos estimados, señalando en gris el modelo seleccionado para la predicción.

Al igual que en los casos anteriores, el proceso de estimación consideró la determinación de modelos que consideren la totalidad de las variables explicativas, de forma tal de seleccionar aquellas que resultan significativas y de signos correctos. A partir de esta especificación general se eliminan aquellas variables que presentan baja significancia de forma tal de determinar su implicancia en la especificación general. Como resultado de este proceso se selecciona el modelo de mejores indicadores al interior de cada categoría.

La estimación permite obtener en todos los casos indicadores satisfactorios para el parámetro asociado al costo, el que resulta negativo y altamente significativo. Consistente con el mayor consumo de los camiones pesados, el parámetro asociado al costo de transporte resultó de mayor incidencia que en el caso camiones simples.

En todos los casos se intentó incorporar los parámetros de actividades productivas en forma separada o como una combinación de ellas, privilegiando estas variables frente a otras tales como la vivienda o la población. Sin embargo, la estimación indica que los viajes suburbanos de transporte de carga dependen fuertemente del número de residentes de la zona que lo genera o atrae.

Los modelos obtenidos presentan un muy buen ajuste, con indicadores por sobre el 60%, excepto en el caso de camiones simples de período diurno laboral cuyo indicador de ajuste es de 43%, lo que se encuentra dentro de los valores tradicionalmente obtenidos en este tipo de modelos.

CUADRO Nº 8.6-10
MODELO DE DEMANDA DIRECTA
CAMIÓN SIMPLE – PERÍODO DIURNO LABORAL

Variables	vsp1cs_m001		vsp1cs_m002		vsp1cs_m003		vsp1cs_m004		vsp1cs_m005	
	Estimador	t-est								
Constante	0.004718	0.70	0.004659	0.69			0.012521	0.81		
VIVi * VIVj	0.499864	5.33	0.505148	5.36	0.116485	4.85	0.415231	5.20	0.119757	7.82
COMi*COMj	-0.255307	-2.44	-0.272554	-2.36						
SERi*SERj	0.034329	0.42	0.045644	0.49						
INDi*INDj	0.221547	4.05	0.222728	4.06						
SUPi*SUPj					0.044159	2.48	-0.01274	-0.89	0.01927	2.01
Cij	-1.851799	-8.29	-1.829261	-8.47	-3.707566	-9.98	-1.426185	-8.72	-1.568928	-9.09
Variables Mudadas										
DVA	-0.187553	-1.64	0.640761	4.70	1.056123	5.05	0.563511	4.93		
DQN					1.133781	7.23				
DQC					1.164229	8.29			0.17317	2.17
DLO										
DCO					1.466988	8.10			0.536053	6.98
DCA					1.407785	4.67			0.534894	2.83
DPV										
R2	0.50		0.51		0.22		0.45		0.45	
R2 adj	0.48		0.48		0.18		0.43		0.43	
Log likelihood	-218		-217		-251		-225		-187	
Observaciones	149		149		149		149		149	

CUADRO Nº 8.6-11
MODELO DE DEMANDA DIRECTA
CAMIÓN SIMPLE – PERÍODO DIURNO FESTIVO

Variables	vsp2cs_m001		vsp2cs_m002		vsp2cs_m003		vsp2cs_m004		vsp2cs_m005	
	Estimador	t-est	Estimador	t-est	Estimador	t-est	Estimador	t-est	Estimador	t-est
Constante	2.730701	0.75	11.63639	3.78	10.43908	3.38	0.32086	0.69		
VIVi * VIVj	0.126567	1.40					-0.105469	-0.73	0.157258	9.89
COMi*COMj	-0.234136	-2.93								
SERi*SERj	0.035602	0.69								
INDi*INDj	0.28255	4.58	0.088236	6.34					0.063723	4.37
SUPi*SUPj					0.068054	5.36	0.338792	2.48		
Cij	-2.758102	-9.74	-2.366939	11.30	-2.175721	-10.17	-2.475257	-8.95	-2.330582	-13.94
Variables Mudadas										
DVA	0.021426	0.17	0.084445	0.71	-0.071869	-0.56	-0.183239	-1.13		
DQN										
DQC										
DLO										
DCO										
DCA										
DPV										
R2	0.66		0.62		0.55		0.51		0.61	
R2 adj	0.63		0.61		0.54		0.49		0.61	
Log likelihood	-108		-113		-121		-126		-114	
Observaciones	99		99		99		99		99	

CUADRO Nº 8.6-12
MODELO DE DEMANDA DIRECTA
CAMIÓN PESADO – PERÍODO DIURNO LABORAL

Variables	vsp1cp_m001		vsp1cp_m002		vsp1cp_m003		vsp1cp_m004		vsp1cp_m005	
	Estimador	t-est								
Constante	0.0000346	0.23	5.79E-11	0.10	1.3E-11	0.11	7.902167	2.39	0.181127	10.76
VIVi * VIVj	0.994553	3.56	0.994472	2.57	0.994472	2.13				
COMi*COMj	-0.973656	-2.46								
SERi*SERj	0.462888	1.38								
INDi*INDj	0.429188	4.51								
SUPi*SUPj			0.429103	2.09	0.429103	0.90	-0.005013	-0.50		
Cij	-1.578578	-5.53	-1.578587	-1.88	-1.578587	-1.29	-0.964862	-3.94	-3.079324	-6.15
Variables Mudadas										
DVA	-0.483326	-2.81	-0.483326	-2.14	-0.483326	-1.13	-0.023673	-0.22	1.294972	2.78
DQN									0.233678	3.38
DQC										
DLO										
DCO									1.788341	3.88
DCA									1.03618	11.82
DPV										
R2	0.35		-0.19		-0.32		0.13		0.66	
R2 adj	0.31		-0.23		-0.37		0.11		0.65	
Log likelihood	-147		-182		-188		-164		-108	
Observaciones	116		116		116		116		116	

CUADRO Nº 8.6-13
MODELO DE DEMANDA DIRECTA
CAMIÓN PESADO – PERÍODO DIURNO FESTIVO

Variables	vsp2cp_m001		vsp2cp_m002		vsp2cp_m003		vsp2cp_m004		vsp2cp_m005	
	Estimador	t-est								
Constante	0.941096	0.25	0.000145	0.17					0.1556	5.46
VIVi * VIVj	0.16078	0.67	-0.407009	-1.29			0.1555	4.63		
COMi*COMj	-0.013591	-0.16								
SERi*SERj	-0.370058	-2.45								
INDi*INDj	0.370763	3.07								
SUPi*SUPj			0.862187	2.20	0.013414	0.70	-0.0017	-0.14		
Cij	-1.409675	-2.92	-1.188144	-1.88	-0.197314	-1.11	-3.2123	-9.98	-2.9769	-4.21
Variables Mudadas										
DVA	0.076734	0.36	-0.686902	-1.84	0.037735	0.28	1.0157	5.58	0.7999	2.71
DQN							0.8248	5.54	0.7787	2.37
DQC							0.8841	7.02	0.8322	2.46
DLO							1.0045	5.23	0.6696	2.01
DCO							0.9490	2.85	0.9662	3.49
DCA							0.7460	7.67	0.9138	2.17
DPV									0.6156	7.67
D546									0.3708	5.04
R2	0.19		-0.03		0.02		0.73		0.83	
R2 adj	0.11		-0.09		-0.01		0.70		0.80	
Log likelihood	-93		-101		-99		-55		-40	
Observaciones	68		68		68		68		68	

8.6.2 MODELOS DE DEMANDA DE VIAJES INTERURBANOS

Tal como se mencionó precedentemente, la proyección de los viajes interurbanos será realizada exclusivamente a través de la proyección de los viajes observados en la situación actual mediante modelos de series de tiempo. De esta manera, a continuación se presentan las labores desarrolladas en la estimación de estos modelos.

a) Antecedentes

La estimación de series de tiempo requiere contar con antecedentes históricos del tránsito en el área de estudio, de forma tal de disponer de información confiable para la predicción. En el caso del presente estudio, los mejores antecedentes con los que es posible contar corresponden a las plazas de peaje de la Ruta 68, los que controlan gran parte de los viajes interurbanos que acceden al Gran Valparaíso.

De esta manera, la proyección de los viajes interurbanos se realiza mediante la aplicación de modelos econométricos que han sido calibrado utilizando las series históricas del tránsito medio diario anual observado en la Plaza de Peaje de Lo Prado (variable dependiente) y el PIB Nacional (variable independiente).

La serie utilizada para la calibración, desde el año 1986 al 2001, se reportan en el Cuadro N° 8.6-14. Se debe notar que con posterioridad al año 2001 la Ruta 68 ha experimentado una serie de modificaciones, a nivel de infraestructura (ampliación de capacidad de túneles y mejoramiento de la cuesta La Dormida) como de tarificación (modificación del esquema tarifario de la Plaza de Peaje de Zapata y Lo Prado), por lo que no resulta conveniente incorporar los antecedentes del año 2002 y 2003 en el análisis de la proyección de la demanda.

Se debe notar que la proyección será realizada empleando las tasas que resulten del análisis, las que serán aplicadas directamente a las matrices calibradas de la situación actual, por lo que la eliminación de los antecedentes posteriores al 2001, sólo se realiza para evitar sesgar la estimación de elasticidades.

CUADRO Nº 8.6-14
SERIE HISTÓRICA DE TRÁNSITO ANUAL POR TIPO DE VEHÍCULO
PLAZA DE PEAJE LO PRADO

AÑO	PIB	Vehículos Livianos	Camión Liviano	Camión Pesado	Buses
1986	3.419.209	865.412	66.189	82.875	105.297
1987	3.644.681	997.320	74.984	104.930	99.962
1988	3.911.154	1.136.722	77.997	114.922	110.782
1989	4.324.181	1.306.949	89.997	139.222	119.152
1990	4.484.071	1.404.165	87.064	133.990	127.751
1991	4.841.447	1.491.967	88.106	154.203	140.248
1992	5.435.881	1.624.488	98.023	165.228	153.509
1993	5.815.646	1.708.153	99.022	154.521	170.852
1994	6.147.610	1.791.886	108.122	145.159	187.965
1995	6.800.952	1.930.241	111.406	148.430	189.798
1996	7.305.141	2.132.631	132.389	161.635	194.851
1997	7.858.500	2.266.025	150.093	160.195	195.936
1998	8.153.011	2.435.314	165.935	147.411	200.920
1999	8.059.767	2.363.777	153.789	128.110	202.760
2000	8.493.402	2.355.241	155.042	127.818	205.613
2001	8.732.331	2.224.975	158.289	143.739	211.991

b) Especificación de los Modelos de Proyección

En consideración al comportamiento de los datos y siguiendo las recomendaciones de otros estudios donde se han calibrado este tipo de modelos para realizar las proyecciones de demanda, se ha considerado la siguiente especificación de los modelos de proyección, válida para cualquier tipo de vehículo:

Modelo 1:

$$TMDA_t = K * PIB_t^n$$

Modelo 2:

$$TMDA_{t-1} = K * PIB_{t-1}^n$$

Donde $TMDA_t$, corresponde al tránsito medio diario anual de vehículo analizado en el año t , PIB_t es el Producto Interno Bruto Nacional en el año t y, finalmente, K y n son los parámetros de calibración. De esta manera, por simplicidad de los modelos y facilidades de estimación econométricas de los modelos lineales, la calibración de estos modelos se realiza con especificación logarítmica:

$$Ln(TMDA_t) = K + n * Ln(PIB_t)$$

$$Ln(TMDA_t) = K + n * Ln(PIB_{t-1})$$

Adicionalmente, se probó una especificación lineal, del siguiente tipo:

Modelo 3:

$$TMDA_t = K + n * PIB_t$$

c) Resultados de la Calibración de Modelos Económicos

Los resultados de las tres formas funcionales probadas por tipo de vehículo, se presentan en los Cuadro N° 8.6-15 al Cuadro N° 8.6-19, en términos de los coeficientes y los indicadores estadísticos más relevantes.

Como se puede apreciar los modelos presentan muy buen nivel de ajuste, con parámetros significativos.

La excepción es el modelo de camiones pesados, el cual presenta un muy bajo nivel de ajuste, por lo que se decidió realizar la estimación conjunta de camiones simples y pesados, para la predicción del crecimiento de este último tipo de vehículo.

CUADRO N° 8.6-15
Parámetros según modelo utilizado para Vehículos Livianos

Parámetro	Modelo 1 VL(t)	Modelo 2 VL(t-1)	Modelo 3 VL(lineal)
PIB	1,00	0,89	0,27
t-est	20,04	18,20	19,60
K	-1,18	0,55	85207,02
t-est	-1,53	0,72	0,96
R2	0,97	0,96	0,96

CUADRO N° 8.6-16
Parámetros según modelo utilizado para Camiones Simples

Parámetro	Modelo 1 CS(t)	Modelo 2 CS(t-1)	Modelo 3 CS(lineal)
PIB	0,91	0,87	0,02
t-est	17,62	16,82	17,00
K	-2,63	-1,90	5105,26
t-est	-3,26	-2,36	0,77
R2	0,96	0,96	0,95

CUADRO N° 8.6-17
Parámetros según modelo utilizado para Camiones Pesados

Parámetros	Modelo 1 VP(t)	Modelo 2 VP(t-1)	Modelo 3 VP(lineal)
PIB	0,34	0,16	0,01
t-est	2,79	1,55	2,12
K	6,55	9,33	102121,57
t-est	3,47	5,72	5,74
R2	0,36	0,16	0,24

CUADRO N° 8.6-18
Parámetros según modelo utilizado para Camiones

Parámetros	Modelo 1 CAM(t)	Modelo 2 CAM(t-1)	Modelo 3 CAM(lineal)
PIB	0.61	0.49	0.02
t-est	9.42	8.53	8.84
K	2.99	4.86	107226.83
t-est	2.99	5.46	6.29
R2	0.86	0.85	0.85

CUADRO N° 8.6-19
Parámetros según modelo utilizado para Locomoción Colectiva

Parámetros	Modelo 1 LC(t)	Modelo 2 LC(t-1)	Modelo 3 LC(lineal)
PIB	0,82	0,78	0,02
t-est	18,37	13,59	15,60
K	-0,74	-0,15	34506,00
t-est	-1,07	-0,16	4,00
R2	0,96	0,93	0,95

En las figuras siguientes se presenta la predicción realizada empleando los modelos antes calibrados.

Como se puede apreciar, las tendencias de crecimiento observadas son similares. Sin embargo, considerando que las predicciones realizadas con los modelo 2 y 3, resultan muy optimistas, se ha decidido emplear para la predicción los modelo del tipo 1 (VL(t), CS(t), CAM(t) y LC(t)).

FIGURA N° 8.6-3
MODELOS DE PROYECCIÓN DEL TMDA DE VEHÍCULOS LIVIANOS

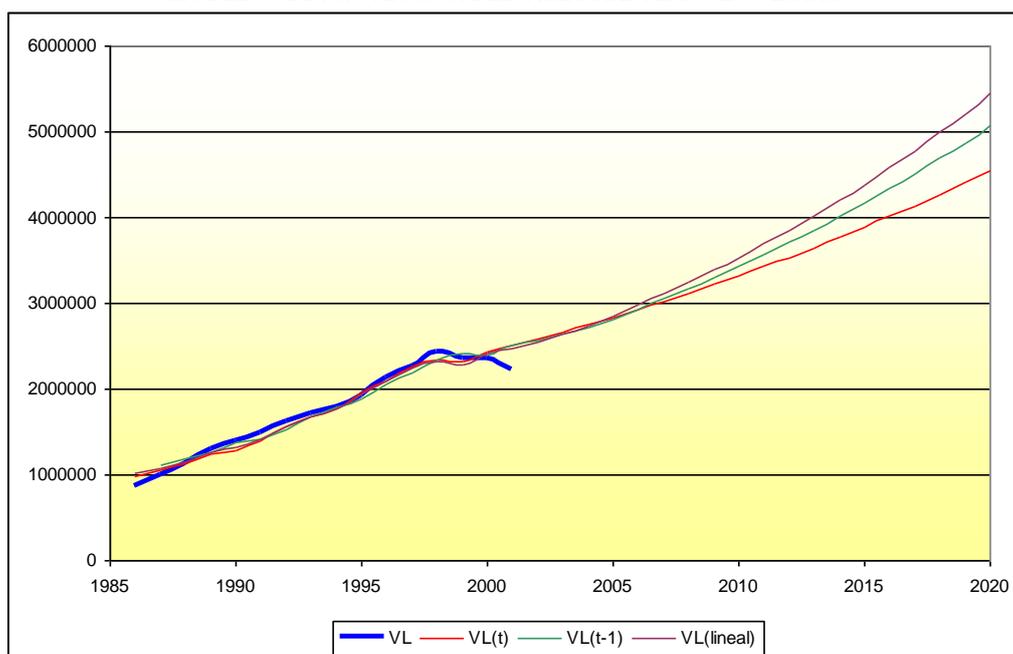


FIGURA N° 8.6-4
MODELOS DE PROYECCIÓN DEL TMDA DE CAMIONES SIMPLES

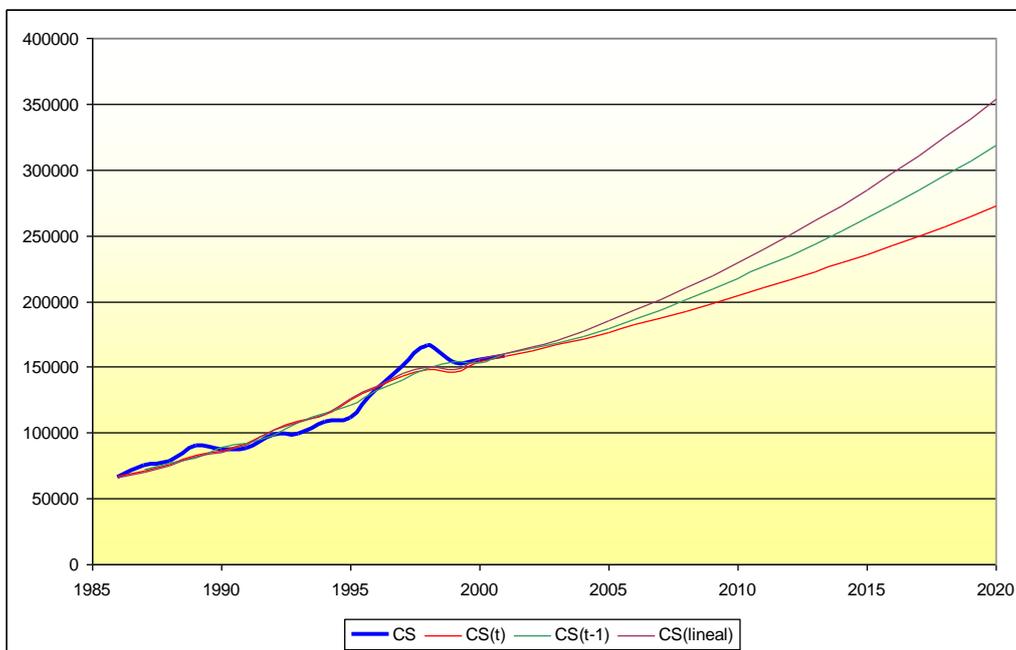


FIGURA N° 8.6-5
MODELOS DE PROYECCIÓN DEL TMDA DE CAMIONES PESADOS

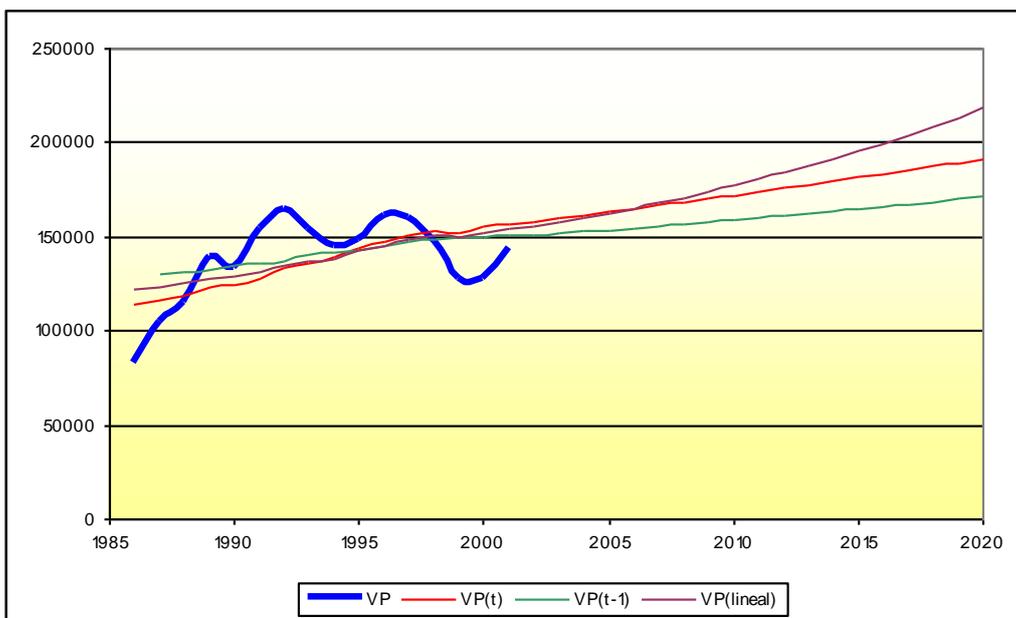


FIGURA Nº 8.6-6
MODELOS DE PROYECCIÓN DEL TMDA DE LOCOMOCIÓN COLECTIVA

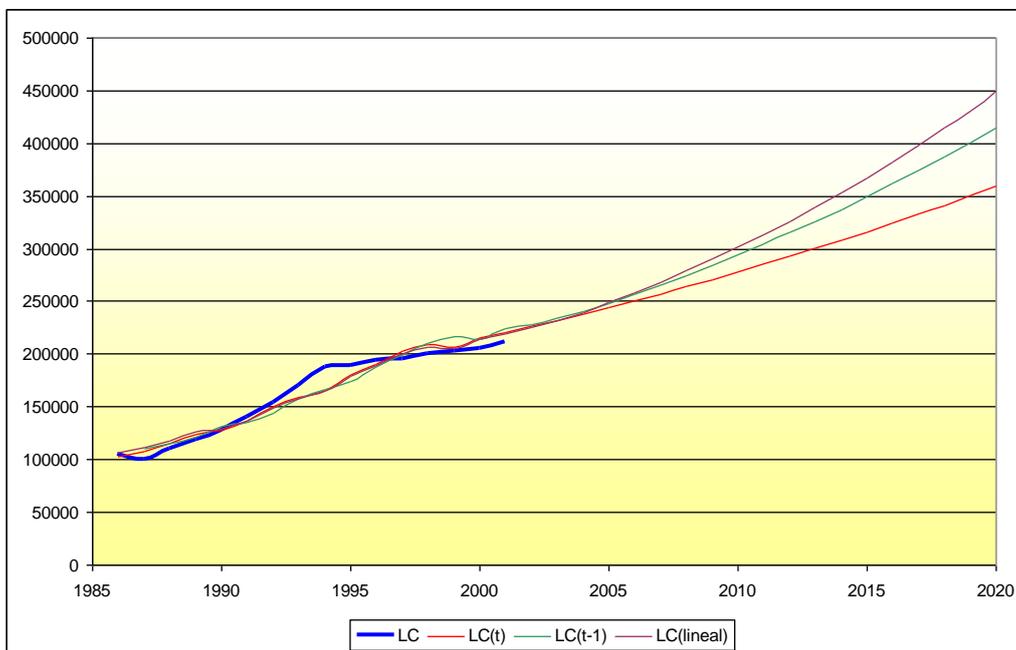


FIGURA Nº 8.6-7
MODELOS DE PROYECCIÓN DEL TMDA DE CAMIONES SIMPLES Y PESADOS

