

EL TRANSPORTE URBANO DE VIÑA DEL MAR

ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DEL SISTEMA

JUAN ESCUDERO *
ANDRÉS RAMÍREZ *
ROBERTO RIVEROS *

Desde el verano de 1973, un equipo del Centro de Planeamiento de la Universidad de Chile se encuentra realizando un estudio de los problemas de Transporte Urbano de Viña del Mar¹. Durante el primer Semestre de 1974 se ha venido realizando una serie de avances acerca de este problema, dentro del curso IN-723 "Seminario de Transporte"². El presente documento estará destinado a presentar las avances del Proyecto, primero en el planteamiento y análisis del problema, luego, en la elaboración de metodologías para su solución y finalmente, en cuanto a los resultados obtenidos a través de la elaboración de los datos y de la aplicación de las metodologías desarrolladas durante el Seminario.

Este Proyecto se realiza por convenio con la Ilustre Municipalidad de Viña del Mar, y ha contado con el apoyo de los Ministerios de Obras Públicas y Transporte y de Vivienda y Urbanismo. Las mediciones de tránsito realizadas en febrero de 1973 fueron posibles

gracias a la colaboración de la Armada Nacional que aportó el personal para efectuar los recuentos.

1. *Planteamiento del Problema*

1.1 *El problema de planificación urbana y transporte en Viña del Mar*

La ciudad de Viña del Mar ocupa una posición central dentro del Area Metropolitana de Valparaíso. Además de su movimiento interno, la ciudad constituye actualmente el paso obligado de la mayor parte de los flujos de pasajeros y carga de la intercomuna, y durante la temporada de Verano recibe la sobrecarga de una gran cantidad de turistas.

La infraestructura del transporte urbano viñamarino presenta fuertes limitaciones de capacidad actual, standard de servicio y posibilidades de ampliación, tanto por la configuración del terreno como por tratarse de un área urbana consolidada.

Durante los últimos años la congestión ha ido en aumento, y múltiples razones de carácter local (desarrollo urbano, aumento de la motorización) y nacional (aumento de la afluencia turística) permiten esperar un progresivo deterioro de la situación.

El sistema urbano

La demanda por transporte urbano encuentra sus raíces en la distribución de población y actividades económicas de la ciudad. En el caso de Viña del Mar, el sistema urbano que

* Profesores Investigadores del Centro de Planeamiento, Depto. de Industrias, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Sede Occidente.

1 Ver: "Análisis de la Red de Tránsito de Viña del Mar". J. Escudero, R. Riveros y A. Ramírez. CEPLA. Pub. N° 72/38/C.

"El Transporte Urbano en Viña del Mar". A. Ramírez, J. Escudero y R. Riveros. CEPLA. Pub. N° 73/03/C. y Pub. N° 74/14/C.

2 El mencionado Seminario fue dirigido por los profesores Luis Escobar, Juan Escudero y Roberto Riveros. Participaron en él, el profesor Andrés Weintraub y los alumnos A. Alvarez, R. Esquivel, P. Grez, A. Millard, J. Parot y H. Petric. Los alumnos Esquivel y Parot se han desempeñado además como ayudantes de este Proyecto.

causa la demanda es toda del Area Metropolitana de Valparaíso. Dentro de esta área, los principales núcleos de actividad permanente son el centro del propio Viña del Mar, y principalmente la zona del Puerto y el Centro de Valparaíso; a ellos se suman en verano las playas de la comuna de Viña, que pasan a constituirse en un poderoso centro de atracción. La población permanente se distribuye entre las comunas de Valparaíso, Viña del Mar, Quilpué y Villa Alemana (Ver Cuadro N° 1) y los turistas estacionales se concentran principalmente en Viña del Mar.

El sistema vial y los principales flujos

Desde el punto de vista de oferta vial, la Red del Area Metropolitana está constituida por cinco subsistemas bien diferenciados unidos por conexiones identificables: Comuna de Valparaíso, Comuna de Quilpué, Comuna de Villa Alemana, Ciudad de Viña del Mar (Zonas de Origen y Destino números 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27) y Area Reñaca - Con-Con (resto de la comuna de Viña del Mar). Los principales flujos en el Area se producen a través de la Avenida España, única conexión vial directa de Valparaíso con las demás comunas. Las conexiones de Quilpué y Villa Alemana se producen a través de la red vial de Viña, a través de flujos que penetran primordialmente por 1 Norte. Otro tanto ocurre con las del Area Reñaca - Con-Con, cuyos flujos penetran en la red vial de Viña a través de la Subida Alessandri y la Avda. Jorge Montt.

Los flujos de conexión con Santiago y las ciudades intermedias de Curacaví y Casablanca (flujos importantes, especialmente en verano y fines de semana) se producen a través de la Subida de Agua Santa.

Los mencionados flujos se suman a los internos de la ciudad, se cruzan y mezclan. Como se verá más adelante, provocan una serie de situaciones de congestión cuyos causantes directos no son siempre identificables en términos precisos por observación directa. Para permitir dicha identificación y posteriormente una adecuada proyección se elaboraron los modelos de transporte detallados más adelante.

Limitaciones de la Red

Un primer diagnóstico y proyección de la situación fue planteado por el Ministerio de

Obras Públicas y Transporte, Dirección de Planeamiento, en su estudio "Plan de Transporte Metropolitano de Valparaíso", basado en información recogida en el invierno de 1968.

Este estudio, en uno de sus puntos (4.4.3) se refiere a la capacidad de las vías, fijando un standard de servicio tal que un vehículo no sufra una detención mayor que un ciclo de semáforo. La capacidad así definida, que incluye explícitamente el standard de servicio indicado, se entiende como el número máximo de vehículos que puede soportar una vía urbana en la condición expuesta.

Las conclusiones más importantes a que llega este estudio, y que explican en parte el problema que nos preocupa, son:

a) Lo que ellos llaman TRAMO PLAN-PLAN presenta una congestión clara, en que algunas vías presentan porcentajes de uso de 94,20% entendiendo como porcentaje de uso standard de un cauce vial un 75%, y esta saturación en algunas vías, repercute en otras, pero no toda el área está congestionada actualmente.

b) El acceso a los centros de Viña del Mar presenta en la actualidad índices de congestión, y se observan en varias vías porcentajes de uso exagerados lo que indica la saturación de ellas, que conforman el tramo llamado PLAN-CERRO. El estudio concluye que el año 1990 se hace insostenible la situación anterior, agregándose saturación en casi todos los sectores. Debemos recordar, también, la dificultad de construir en el tramo PLAN-CERRO, lo que limita fuertemente las posibilidades de ampliación.

c) Finalmente, la intersección definida como CERRO-CERRO, presenta una oferta vial, según el estudio, eficaz tanto en la actualidad como en las proyecciones previstas. Respecto a las áreas de acceso, entre los subsistemas que nos definimos, tenemos:

Avenida España. Se caracteriza un trazado por las barreras físicas constituidas por los cerros del Sur, ferrocarril y mar, que restringen y condicionan el desarrollo de esta vía, siendo su ancho desuniforme, con lo cual produce bajas en su capacidad de uso. La tasa de ocupación de la vía, que otorga este estu-

dio a la Avda. España, es de 220,70%. Con la construcción de la vía elevada y la ampliación de Avda. España se llega a proyecciones de uso al año 1990 del 100% aproximadamente. Esto indica que la congestión actual seguirá existiendo a futuro a pesar de todos los esfuerzos. Se concluye, entonces, que uno de los resultados más importantes a obtener es la aplicación de una política correctiva respecto de la racionalización del tráfico por esta vía.

I Norte (Camino Troncal). El acceso desde Quilpué-Villa Alemana presenta una oferta vial satisfactoria en la actualidad. Sin embargo, la proyección al año 1990 de este estudio, muestra altos grados de congestión en todas las alternativas de crecimiento probadas.

En la situación invierno, el acceso de Reñaca Con-Con no presenta congestión, pero en verano hay serios problemas de congestión por la gran afluencia turística, siendo las posibilidades de expansión muy bajas por estar dicha vía entre los cerros y el mar.

Durante el Verano, las situaciones de congestión se acentúan, lo cual es grave en sí mismo, dada la importancia de la industria turística en la región, y desde un punto de vista experimental observar "en vivo" el comportamiento futuro de las zonas congestionadas en invierno. Por tales motivos, se realizaron una serie de mediciones de tráfico durante los veranos de 1973 y 1974 que se detallan más adelante y se suman como antecedentes de este estudio a los proporcionados por M.O.P.T.

La situación a futuro: crecimiento de población

Durante el presente decenio se espera un aumento significativo de la población metropolitana. En un documento anterior³ fueron analizadas las distintas fuentes. En breve resumen, las distintas proyecciones entregan las siguientes cifras:

El estudio "Región Central de Chile, Perspectivas de Desarrollo" realizado por CIDU Universidad Católica, formula dos hipótesis alternativas para el crecimiento de Valparaí-

so: una optimista, que consiste en que el Gran Valparaíso mejore su capacidad de retener y atraer población, y una pesimista, que consiste en detención a su nivel actual del saldo migratorio, que ha venido bajando históricamente. Las estimaciones resultantes son:

— Población a 1970 :	631.000 habitantes
— Población a 1980 :	
Hipótesis pesimista	731.000 habitantes
Hipótesis optimista	831.000 habitantes

El estudio realizado por el Departamento de Estudio de Transporte Urbano del M.O.P.T., Oficina Provincial Valparaíso, ofrece las siguientes proyecciones:

— Población a 1970 :	597.024 habitantes
— Población a 1980 :	806.355 habitantes
— Población a 1990 :	1.109.975 habitantes

La tercera fuente de información es "El estudio de Factibilidad Técnico-económico para el mejoramiento de la Red de Alcantarillado, Plantas Elevadoras-emisarios submarinos en Valparaíso y Viña del Mar: Plan Maestro 1970", realizado para la Empresa Municipal de desagües de Valparaíso y Viña del Mar. Sus proyecciones, basadas en fuentes de CELADE son las siguientes:

– Población en 1970 (Valpo. y Viña del Mar) :	587.200 habitantes.
– Población en 1985 (Valpo. y Viña del Mar) :	938.100 habitantes.
– Población en 2000 (Valpo. y Viña del Mar) :	1.197.300 habitantes.

A partir de estas fuentes, se puede concluir que el Gran Valparaíso tiene una alta probabilidad de superar los 750.000 habitantes entre los años 1977 (estudio M.O.P.T. Valpo.) y el año 1988 (Alternativa pesimista CIDU, proyectada hasta 1990). Este margen se amplía notablemente al considerar la cifra del millón de habitantes. Ella no se alcanzaría sino hasta 1986 según la alternativa más optimista (M.O.P.T. - Valpo.).

Situación a futuro: crecimiento del empleo

La mayor parte de los trabajos revisados se refieren fundamentalmente a población

³ Ver CEPLA Pub. N° 73/03/C. antes citada.

activa. El empleo y su ubicación en las comunas estudiadas no cuenta al parecer, con estudios precisos para la fecha. Las cifras aquí empleadas corresponden a las usadas como antecedente para la elaboración de la Encuesta de Origen y Destino.

Sus valores a nivel comunal para 1968, son:

Comuna	Empleos	%
Valparaíso	297.722	52.8
Viña del Mar	168.985	30
Quilpué-Villa Alemana	96.721	17.2

Hay que hacer notar que estas cifras son significativamente mayores que las proyecciones de población activa hechas para la misma fecha. Por este motivo, sólo se considera la distribución porcentual de ellas.

En cuanto al crecimiento del empleo, el estudio CIDU⁴ entrega las siguientes cifras para el período 1970-1980.

Empleos generados en el Gran Valparaíso 1970-1980

— Industriales	13.500
— Proyectos CORFO y empleos inducidos	3.000
— Servicios Básicos y Turismo y empleos inducidos	10.000
— Empleos generados por el multiplicador de servicios del empleo industrial e incremento del ingreso urbano y rural	20.000
Total Gran Valparaíso	46.500

Estas proyecciones se efectuaron en un contexto diferente al de hoy día. Los cambios aparentemente más importantes son los siguientes:

- El Gran Valparaíso cobra una importancia mayor después de modificarse la estructura administrativa de la Nación.
- La política económica hace prever un uso más intensivo del comercio exterior tanto chileno como el proveniente de un sector de Argentina. Esto aumentaría la importancia de la actividad en el Gran Valparaíso.

- Un aumento aún no concretado, de la oferta de inversiones en la región.

La situación a futuro: cambio en la estructura urbana

La situación a 1970, en cuanto a la estructura urbana de la zona, puede sintetizarse en las cifras correspondientes a la distribución de población y empleo adoptadas. En cuanto a la población, ellas corresponden a la información censal (provisoria) disponible a la época y que aparecen en el documento CEPLA, antes citado⁵.

Para las cifras de trabajo, se debió adoptar la repartición porcentual vista en el párrafo anterior, a escala comunal. Ante la carencia de información elaborada a nivel de zona de O/D, se adoptó al interior de cada comuna, la distribución porcentual de viajes totales atraídos por motivos de trabajo para cada zona.

C U A D R O N° 1

POBLACION Y TRABAJO POR ZONA, GRAN VALPARAISO (1970)

Zona O/D	Población	Empleo (%)
<i>Valparaíso:</i>		
01	8.433	12.90
02	4.381	36.20
03	14.235	37.90
04	32.811	2.00
05	26.225	3.50
06	27.241	1.50
07	14.299	0.50
08	20.640	1.10
09	22.986	1.60
10	26.168	1.40
11	24.472	0.40
12	20.769	1.00
		100.00

4 Investigación Macro Zona Central, Doc. de Trabajo N° 43, CIDU, agosto 1971.

5 Ver Pub. N° 73/03/C. CEPLA, p. 25.

Viña del Mar:

20	16.931	3.33
21	24.735	3.64
22	12.815	36.84
23	13.997	16.91
24	9.111	11.19
25	32.417	—
26	35.685	5.78
27	33.866	7.38
30		11.08
40	8.372	3.85

100.00

<i>Zona O/D</i>	<i>Población</i>	<i>Empleo (%)</i>
-----------------	------------------	-------------------

Quilpué - Villa Alemana:

60	28.132	18.96
61	13.672	32.14
62	12.693	10.42
50	25.030	34.31
51	11.837	4.17

100.00

La evolución futura de la estructura urbana corresponde a las proyecciones realizadas, durante 1973, por la Oficina del Plan Regulador Intercomunal de Valparaíso. Ellas se plantearon en una serie de sesiones de trabajo del equipo a cargo de este proyecto con el Jefe de dicha Oficina, arquitecto Carlos Mena. Se trató allí de explicar y expresar en forma internamente compatible, los principales planteamientos de Planificación Urbana que están siendo analizados por el Ministerio de la Vivienda y por las I. Municipalidades del Area Metropolitana. Ellos reflejan en gran medida la tendencia actual y el cambio que acarrearía sobre dicha tendencia, la implementación de determinados planteamientos y proyectos de desarrollo urbano.

En términos resumidos, la situación futura se puede describir en las cifras siguientes:

CUADRO N° 2

PROYECCIONES DE POBLACION POR COMUNA

<i>Año</i>	<i>Valparaíso</i>	<i>Viña del Mar</i>	<i>Quilpué</i>	<i>V. Alemana</i>
1970	292.114	183.380	70.530	40.653
1980	336.377	253.387	116.966	69.538
1990	380.588	320.915	162.498	98.167

CUADRO N° 3

PROYECCIONES PARA LA COMUNA DE VIÑA DEL MAR (1990)

<i>Zona O/D</i>	<i>Población</i>	<i>%</i>	<i>Empleo</i>	<i>%</i>
20	30.000	9,30	4.267	3,56
21	30.000	9,30	4.095	3,42
22	20.000	6,20	42.760	35,72
23	20.000	6,20	8.190	6,85
24	15.000	4,70	10.000	8,36
25	45.000	14,00	1.638	1,37
26	50.000	15,60	8.915	7,44
27	63.000	19,70	18.565	15,50
30	15.000	4,70	1.638	1,36
31	15.000	4,70		
40	15.000	4,70	18.687	15,60
R)	3.000	0,9	987	0,82
	321.000	100,00	119.742	100,00

CUADRO N.º 4

VIAJES POR MOTIVO DE TRABAJO ENTRE COMUNAS (1990)

<i>Origen/Destino</i>	<i>Valparaíso</i>	<i>V. del Mar</i>	<i>Quilpué</i>	<i>V. A.</i>	<i>Otros</i>	<i>Total</i>
Valparaíso	—	12.500	300	—	1.662	14.462
Viña del Mar	17.000	—	200	—	1.092	18.292
Quilpué	10.769	3.118	—	—	500	14.387
Villa Alemana	15.367	2.882	—	—	—	18.258
Otras	2.376	876	—	—	—	3.252
Total	45.521	19.376	500	—	3.254	68.651

Es a partir de estas tendencias mostradas por las cifras del Plan Intercomunal que se pretende estructurar algunas alternativas del crecimiento de este complejo del Gran Valparaíso. Ellas comprenden, básicamente, crecimientos de población y de empleo en algunas zonas específicas. En cuanto a la población, es muy probable que las zonas 27 (Siete Hermanas), 26-25 (Reñaca Alto), 50-60 Quilpué y Villa Alemana y 22-23-24 (Centro de Viña), experimenten crecimientos ya sea por vivienda de extensión o en altura. Para el empleo, las localizaciones más probables parecen ser las zonas 40 (Concón y Quintero), 22-23 (Centro de Viña) y 50 (Quilpué), ya sea en empleo industrial o de servicios, según el caso.

La situación a futuro: cambios mayores en los sistemas de transporte

La crisis actual de las conexiones con Valparaíso ha provocado dos iniciativas ya parcialmente implementadas, que causarán cambios sustanciales en todo el sistema. Ellas son el reemplazo de la actual Avenida España por una vía expresa de alta capacidad (la "Vía Elevada") y la expansión de los servicios ferroviarios de pasajeros entre Villa Alemana y Valparaíso, pasando por Quilpué y Viña del Mar.

En el primero de los casos, el proyecto que se está implementando sólo está detallado hasta su entrada a Viña (aproximadamente hasta el nudo número 1). Su continuación al interior de la ciudad está en discusión y se espera aportar nuevos puntos de vista con este proyecto. En el segundo caso, el mismo proyecto de la "Vía Elevada" contempla una ampliación de la capacidad ferroviaria desde

dos a cuatro vías entre el puerto y el nudo número 1, y existen numerosas alternativas de diseño, estándar y trazado en estudio para el paso por Viña del Mar; los aportes esperados a esta discusión serán marginales y puntuales en esta etapa, aunque su influencia sobre el sistema se toma en cuenta en forma paramétrica. Sin embargo, durante el curso "Seminario de Transporte 1974" se dejaron establecidas las bases de un modelo de simulación de recorridos de locomoción colectiva que, en futuras etapas, podría ser de gran utilidad para este efecto.

1.2. El problema de planificación

Los cambios esperados en el sistema urbano, así como las obras de infraestructura planteadas para darle solución, repercuten en mayor medida sobre la ciudad de Viña del Mar que sobre ninguna otra comuna del Gran Valparaíso: se prevé la ocupación de nuevos terrenos, una transformación e intensificación de la actividad económica, cambios en el uso del suelo de sus áreas más valiosas, y una creciente afluencia de viajeros que llegan a ella o la atraviesan para continuar su viaje.

Sin embargo, tanto las diferentes alternativas de estructuración urbana como las alternativas de transporte afectan la ciudad en forma y grados diferentes. Los impactos se concentran en distintas partes de la ciudad, afectan a diferentes grupos y sectores, y comprometen el logro de distintos objetivos o "vocaciones" de Viña del Mar.

La mayor parte de las decisiones en juego dependen de organismos a nivel nacional, o en el mejor de los casos, regional. Las inversiones son de tal magnitud que superan la capacidad municipal, y las autoridades locales

se enfrentan a la situación con herramientas administrativas de control, con una capacidad de inversión desproporcionadamente inferior al total en discusión, y con una limitada capacidad de negociación en comisiones consultivas donde la iniciativa la llevan instituciones de superior nivel jerárquico. En estas condiciones, es claro que los parámetros básicos para el desarrollo y funcionamiento interno de la comuna serán fijados desde afuera.

Dentro de un esquema de este tipo, el rol de la autoridad local estaría encaminado a administrar su capacidad de control y su influencia ante organismos superiores para que se produzcan las decisiones que favorezcan o lesionen menos los objetivos internos prioritarios. Al mismo tiempo debería informar a la comunidad local acerca de las consecuencias de las decisiones adoptadas, y procurar la ejecución oportuna de las inversiones hechas necesarias por las mencionadas decisiones (cuyo financiamiento deberá provenir mayoritariamente desde niveles superiores) y aprovechar su propia y limitada capacidad de inversión para producir la mejor adaptación de la ciudad ante las nuevas condiciones.

En un rango inevitablemente más limitado que las necesidades totales de la Municipalidad, este proyecto pretende apoyar los citados roles, entregando un mejor nivel de información con respecto a la situación actual, así como un marco metodológico para comparar en forma consistente algunos de los principales impactos esperables sobre la ciudad y sus sistemas de transporte.

1.3. *Los modelos de transporte planteados para Viña del Mar*

Gran parte de los problemas que enfrenta Viña del Mar, mencionados en el punto anterior, pueden ser cuantificados o al menos estimados para fines de comparación, mediante técnicas de planificación de transporte urbano.

Forma en que se pueden utilizar los modelos

En primer lugar, cada alternativa de localización futura de población y actividades urbanas podrá ser traducida en términos de demanda de transporte. Al contrastar dicha demanda con la cierta disponible en los sis-

temas actuales, se puede llegar a un pronóstico de saturación, el cual en sí mismo será un indicador de la medida en que cada alternativa afecta a la estructura urbana existente.

En segundo lugar, si se considera la posibilidad de efectuar inversiones en los sistemas de transporte de acuerdo a determinadas reglas de operación (por ej.: mantener la congestión por debajo de ciertos niveles) y de acuerdo a alternativas generales de solución desde el punto de vista de transporte (por ej.: diferentes grados de importancia relativa para el automóvil, la locomoción colectiva convencional y el ferrocarril), los mismos modelos de transporte permitirán predecir el tipo, monto físico y costo de inversión de las obras de infraestructura que serían necesarias en cada caso.

En tercer lugar, conocidos los puntos anteriores se pueden estimar las consecuencias derivadas de cada alternativa y su correspondiente solución; la experiencia internacional reciente ⁶ indica que, en situaciones como la analizada, dichas consecuencias cobran tanta o mayor importancia como los costos de inversión o los problemas de congestión que se pretende solucionar. Entre las mencionadas consecuencias conviene destacar como las más relevantes:

a) Algunas claramente negativas para la comunidad urbana atravesada por las nuevas obras:

- Destrucción de construcciones e instalaciones actuales, con perjuicio para sus actuales dueños y/o el funcionamiento de actividades internas de la ciudad y/o para el rol que ésta pretende jugar dentro de la región o el país (por ej.: la función turismo).

- Cambios drásticos en la accesibilidad interna, al quedar interrumpidas algunas trayectorias actuales por los nuevos derechos a vía preferenciales. Estos cambios pueden afectar el funcionamiento o marcar una tendencia a la relocalización de actividades importantes.

⁶ Ver R. Gakenheimer, Los modelos de uso de suelos en el proceso de toma de decisiones, documento presentado al seminario "Problemas y perspectivas de la ciudad", 1ª parte, CIDU, julio de 1974.

– Deterioro en las condiciones ambientales por ruido y contaminación del aire en las áreas vecinas a las nuevas obras, con efectos similares a los recién anotados.

b) Algunas cuyo carácter positivo o negativo debe ser juzgado por las autoridades locales en función de sus objetivos.

– Cambios relativos en la accesibilidad a nivel metropolitano, los cuales a su vez afectarán a las tendencias de localización de actividades dentro del área metropolitana. Es probable una alteración del balance entre los centros de Valparaíso y Viña del Mar, con especial referencia al sector terciario.

– Intensificación general de densidades de uso y de edificación en las cercanías de las nuevas obras, con nuevos efectos de remoción de construcciones e instalaciones actuales.

c) Algunas claramente positivas para la comunidad urbana afectada.

– Aumento en los valores del suelo circundante.

– Aumento en la movilidad y acceso a oportunidades urbanas de los habitantes.

Selección y planteamiento de los modelos

El carácter de los problemas de planificación enfrentados y de la forma en que los modelos podrían informar a la toma de decisiones, hicieron recomendable la selección de una técnica lo más simple posible, que permitiera identificar claramente a los agentes del problema, y en la que fuera posible introducir separadamente y en términos simplificados los cursos alternativos de acción con respecto a las distintas decisiones en juego.

Estas consideraciones, además de las obvias limitaciones de información tanto en cuanto a la disponibilidad de algunas variables como al nivel de agregación territorial de las existentes, condujeron a la elección del método más tradicional: un modelo secuencial de predicción indirecta de flujos, pasando por las etapas clásicas de Generación, Participación Modal, Intercambio de Viajes, y Asignación a la Red. Durante la etapa de planteamiento se decidió considerar en forma conjunta los dos primeros aspectos, esto es, gene-

rar en forma independiente los viajes en automóvil y los viajes en locomoción colectiva, para sumarlos al final en la Asignación a la Red.

El trabajo realizado en cada uno de los submodelos se describe en forma muy resumida en los puntos siguientes.

El proceso de modelamiento fue iniciado con una revisión del análisis del sistema y una confrontación con la literatura nacional e internacional sobre el tema; a continuación fueron planteadas las alternativas de modelamiento, incluyendo tipo de relaciones y variables esperadas; en tercera fase se buscó la validación estadística de las relaciones planteadas, para revisar finalmente los resultados estadísticos en términos lógicos y seleccionar de allí el conjunto de funciones matemáticas que constituyen los modelos.

*Submodelo de generación de viajes*⁷

En el modelo secuencial, la representación matemática de los viajes que se realizan dentro de una ciudad, parte con una identificación de los viajes relevantes, de sus causas y de la forma en que influye cada una de ellas en el monto total.

Dado el propósito de modelamiento —determinan requerimientos de infraestructura— los viajes relevantes son los que se producen durante las horas de PEAK.

En el Caso del Gran Valparaíso, situación de Invierno, de acuerdo a la encuesta de Origen y Destino disponible (MOP. T-1968), éste se produce en el tramo 7 a 8.30 horas.

Una revisión preliminar de la citada encuesta permitió discernir una diferencia significativa en el comportamiento entre las familias dependiendo de si poseían o no automóvil. Tal diferencia se explica fácilmente en términos lógicos, al considerar el bajo nivel de servicio que ofrece la locomoción colectiva actual. Las familias poseedoras de automóvil, las únicas que tienen la oportunidad real de elegir medio de transporte en la actualidad, no enfrentan a una alternativa de transporte público comparable a la de usar el automóvil.

⁷ Durante el curso "Seminario de Transporte" actuó como monitor en esta sección el alumno Gonzalo Parot. Parte del texto de este punto está tomada de su informe.

De ahí que la experiencia de los usuarios en cuanto a partición modal recogida por la encuesta de Origen-Destino sea insuficiente para inferir leyes de comportamiento en este aspecto. Por tal motivo se adoptó la decisión antes mencionada de tratar independientemente ambos tipos de viajes, separándolos desde el momento de la generación⁸, y asumiendo que las personas que tienen posibilidad de usar un automóvil lo harán automáticamente.

Variables independientes posibles en el sub-modelo de generación

La bibliografía especializada en esta materia⁹ ha estandarizado el tipo de variables que pueden explicar la generación de viajes en tres categorías principales: variables socio-económicas, variables de localización y variables de accesibilidad a medios de transporte.

Entre las variables socio-económicas se utilizan con mayor frecuencia algunas tales como Ingreso Familiar, Tamaño de la Familia, Tasas de Motorización, Tasas de Actividad, Status Ocupacional del jefe de Familia. Este tipo de variables tiende a caracterizar a los usuarios en cuanto a la fuerza de la motivación para viajar (por ej.: mayor capacidad de consumo) y a su capacidad real de efectuar viajes (por ej.: mayor movilidad asociada a la posesión de automóvil).

Entre las variables de localización, las más usuales son Uso del Suelo y Densidad en la zona de Origen y en la zona de Destino, Distancia a el o los centros de la ciudad. Estas variables tienden a reflejar la medida en que los usuarios potenciales deben efectuar viajes para satisfacer sus necesidades.

Las variables de accesibilidad a medios de transporte pretenden medir la posibilidad real de los usuarios potenciales de efectuar un viaje

⁸ Ante ausencia de evidencia más específica, este supuesto es al menos tan válido como el alternativo, que consiste en asumir que las familias chilenas tendrán un comportamiento similar a las de otros países, y aplicar curvas de partición modal tomadas de bibliografía.

⁹ Ver por ejemplo: OVERGAARD: "Traffic Estimation in Urban transportation Planning" Acta Polytechnica Scandinavica, CI 37, 1966.

MARTIN, MEMMOTT and BONE: "Principies and Techniques of Predicting Future Demand for Urban Area Transportation". MIT Report N° 3.

cuando desean hacerlo. Lo más usual en esta materia es desarrollar índices que reflejen el nivel de servicio de la locomoción colectiva y las distancias medias que debe recorrer un usuario para llegar a ella.

Nivel de agregación para el sub-modelo de generación

Para desarrollar funciones de relación entre variables empíricas, es necesario agregar las observaciones en grupos internamente homogéneos. Tal agregación puede ser realizada en términos territoriales (zonas de generación) o por cualidades compartidas (actividades productoras: tipos de familia, tipos de uso del suelo). En el caso estudiado, tales posibilidades fueron reducidas a dos. Ambas están implementadas y entregando resultados:

Agregación a nivel zonal. Cada zona de Origen-Destino es considerada una observación, para la cual se promedian las variables independientes y se calcula un indicador del número de viajes emitido (o atraído). Para usar el modelo en predicción, se asume que la relación obtenida permanecerá estable, y los valores futuros de las variables independientes se estiman exógenamente, a partir de alguna forma de modelo de desarrollo urbano.

Agregación a nivel familiar. Cada familia encuestada corresponde a una observación, lo que permite un uso más eficiente de la encuesta de origen-destino. Alternativamente, las familias pueden ser agrupadas en clases territorial o cualitativamente, para estimar la respuesta promedio de grupos de familias. Al introducir estas clasificaciones, algunas variables independientes quedan estratificadas por categorías, con lo que se hace necesario incluir en el modelo variables mudas (toman valores 0 — 1, dependiendo de si la información cae o no en la categoría en cuestión). Esta técnica facilita la inclusión de variables no lineales mediante aproximación por tramos.

Planteamiento y resultados del Modelo de Generación Zonal

La zonificación utilizada corresponde a la división del Gran Valparaíso en 26 zonas de la Encuesta de Origen-Destino MOPT-1968, y considera sólo datos de las familias sin automóvil.

Las variables consideradas fueron:

- Y_i = viajes generados por la zona (i) en la hora de PEAK
 X_{1i} = población de la zona (i)
 X_{2i} = total de personas con empleo fijo que viven en la zona (i)
 X_{3i} = estudiantes residentes en la zona (i)
 X_{4i} = autos por 1000 habitantes en la zona (i)
 X_{5i} = distancia al centro de Viña del Mar desde la zona (i)
 X_{6i} = distancia al centro de Valparaíso desde la zona (i)

Estas variables fueron probadas mediante el programa STEPWISE del Centro de Computación de la Universidad de Chile. A los resultados obtenidos les fueron aplicados los tests estadísticos adecuados para llegar al modelo más representativo y de mayor capacidad predictiva.

El mejor modelo estimado fue la relación:

$$(A) \quad Y_i = 295,96875 + 1,29207 X_{2i} + 1,48206 X_{3i}$$

$$R = 0,50857$$

donde las únicas variables explicatorias serían el número de empleados y el número de estudiantes. Los indicadores estadísticos mejoran levemente al incluir la variable $X_{7i} = X_{2i} + X_{3i}$ en reemplazo de las dos anteriores;

$$(B) \quad Y_i = 409,67188 + 1,37065 X_{7i}$$

$$R = 0,80826$$

Las variables de distancia, aunque estadísticamente significativas, contribuyeron en forma muy leve al nivel de explicación del modelo (alrededor de un 2%). Sin embargo, al incluirlas la constante se hace negativa y la variable distancia entra con signo positivo a la ecuación, lo cual no es aceptable en términos lógicos.

En contra de lo esperado, la tasa de motorización no resultó significativa, lo cual obliga a buscar indicadores más afinados de nivel de ingreso o a bajar el nivel de agregación territorial.

La variable población total, por su parte, presentó problemas de multicolinealidad.

Los avances sobre el modelo estimado se están buscando por inclusión de nuevas variables, principalmente un índice de accesibilidad a buses, un nuevo indicador de ingreso, y un indicador de uso del suelo que interprete la capacidad de "retener" viajes en la zona de origen. Se está procurando además eliminar los problemas de heteroscedasticidad provocados por la correlación detectada entre el error standard de los residuos y el número de familias de las zonas; para ello se plantea un modelo alternativo "de tasas zonales" en vez de número absoluto de viajes.

Planteamiento y resultados del modelo de generación a nivel de familia.

Las familias que no poseen automóvil fueron agrupadas en 26 grupos de acuerdo a la división de zonas de Origen-Destino. Se asume que dentro de cada zona, las familias presentan un comportamiento similar ante la generación de viajes, cuyas diferencias con respecto al promedio se anulan y se plantea un modelo por zona, buscando una regularidad que permita clasificar zonas.

Las variables independientes a probar estadísticamente, tomadas de la Encuesta de Origen-Destino, fueron:

- X_{1i} = miembros de la familia mayores de 5 años
 X_{2i} = número de personas con empleo en la familia
 X_{3i} = número de estudiantes en la familia
 X_{4i} = promedio de personas por habitación de la vivienda.

Los resultados alcanzados a la fecha no permiten extraer conclusiones inmediatas generalizables. Sin embargo, un análisis preliminar de las regularidades permite esperar mejores resultados por este camino mediante categorización de zonas y relaciones no lineales. Otra vez en este caso la variable distancia parece no ser significativa.

Planteamiento y resultados del Modelo de Generación para familias que poseen automóvil.

Para plantear este modelo se asume que el comportamiento de las familias que poseen automóvil es homogéneo en la ciudad, independiente del lugar de residencia. Cada fa-

milia con automóvil constituye una observación, y se probó para ellas las mismas variables que en caso anterior.

Los resultados en este caso son más concluyentes, y es posible establecer dos relaciones alternativas significativas:

$$(A) \quad Y_i = -0,13909 + 0,86943 X_{3i} + 0,52637 X_{2i}$$

$$R = 0,80805$$

$$(B) \quad Y_i = -0,39525 + 0,90218 X_{3i} + 0,56505 X_{2i} + 0,11029 X_{4i}$$

$$R = 0,81336$$

El análisis de los resultados indica la posibilidad de relaciones no lineales, y la probable significación para este caso de variables de localización contrariamente al supuesto inicial.

Submodelo de Distribución (o intercambio) de Viajes¹⁰.

Dentro del modelo secuencial, el segundo paso lógico es la distribución de los viajes generados por cada zona de origen entre los distintos destinos posibles, identificando las causas por las cuales los usuarios eligen el lugar de término de los viajes considerados.

Dadas las restricciones iniciales (ver: Selección y Planteamiento de los Modelos) la búsqueda de metodología para este punto se concentró en tres caminos: el modelo gravitatorio, el modelo de oportunidad interviniente y el método de los factores de crecimiento. Con mayor facilidad que en el caso anterior fue posible descartar dos de ellos.

El método de los factores de crecimiento estima el valor futuro de una variable (en este caso de los coeficientes de repartición) afectando su valor actual por una variable proporcional a la razón entre el valor actual de una variable explicatoria y su valor esperado a futuro (por ej.: población zonal, atraktividad, etc.). La ausencia de series históricas hacía imposible calibrar una relación de este tipo.

El modelo de oportunidad interviniente se aplica a una cadena de puntos de destino secuenciales, para cada uno de los cuales se calcula la posibilidad de que un viaje termine allí, igual a la probabilidad de que el viaje no haya terminado antes, más la probabilidad de que no se seleccionen los puntos siguientes. Este método requiere una identificación muy precisa de las "oportunidades" existentes en cada zona que podrían motivar que el viaje terminara allí, y por otra parte exige un nivel de desagregación territorial incompatible con el de la información existente (principalmente la encuesta de Origen-Destino). Nótese sin embargo, lo apropiado del planteamiento inicial de puntos secuenciales a la situación del Área Metropolitana de Valparaíso.

En ambos casos, además, era difícil la inclusión de problemas de congestión, de gran importancia por los fines perseguidos.

En tales circunstancias se optó por un modelo gravitacional tipo Voorhes.

La formulación general de un modelo de este tipo es

$$T_{ij} = O_i \frac{A_j / d_{ij}^x}{\sum_j A_j / d_{ij}^x}$$

donde:

- T_{ij} = viajes con origen en la zona (i) y destino en (j)
- O_i = total de viajes con origen (i)
- d_{ij} = indicador de distancia entre las zonas (i) y (j)
- A_j = atraktividad de la zona (j)
- x = factor de roce que debe ser calibrado.

La expresión que multiplica a O_i trata de medir la probabilidad de la zona (j) de ser elegida por los viajeros con origen en (i).

¹⁰ Durante el curso "Seminario de Transporte" actuó como monitor de esta sección el alumno René Esquivel. Parte del texto de este punto está formada de su informe.

El factor de roce (x) corrientemente se asume como una constante característica de la ciudad, aunque tal supuesto puede ser levantado ante evidencia deshomogeneidad en el comportamiento en función de la localización. La experiencia anterior en el uso de este tipo de modelos, sin embargo, permite esperar diferentes coeficientes de roce (relacionado con la elasticidad de la demanda con respecto a la distancia) para diferentes propósitos de viaje. En el caso estudiado, durante el PEAK cerca de un 90% de los viajes corresponden a los propósitos "trabajo" y "estudio", motivo por el cual se optó por asimilar el total de viajes a dichos propósitos, y calibrar independientemente modelos para cada uno de ellos.

El proceso de calibración de los modelos de distribución

La calibración de los modelos corresponde en este caso a la búsqueda de los coeficientes que mejor interprete la realidad del año base, reflejada en las matrices de Origen-Destino por Propósito de Viaje. El ajuste es iterativo, calculando factores de ajuste del tipo:

$$XA(j, k) = \frac{D(j)}{C(j, k-1)} XA(j, k-1)$$

- XA (j, k) = factor de ajuste para la columna (j) en la iteración (k)
- C (j, k) = total de viajes atraídos por la zona (j) según el modelo de la iteración (k)
- D (j) = total de viajes atraídos por la zona (j) de acuerdo a la matriz correspondiente de la Encuesta O - D.

En estos términos, la versión de trabajo del modelo queda en la forma:

$$T_{ij, k} = O_i \frac{XA_{j, k} \frac{A_j}{d_{ij}^x}}{\sum_j XA_{j, k} \frac{A_j}{d_{ij}^k}}$$

El procedimiento convergió rápidamente en todos los casos con un máximo de 6 iteraciones para diferencias aceptables de un 5% entre los valores de la encuesta y los estimados por el modelo.

El exponente (x) se calibra también por iteraciones, acercándose a los valores de la matriz correspondiente de la Encuesta a partir de una matriz calculada con un valor inicial de (x). Los valores de ambas matrices se relacionan mediante una ecuación de regresión del tipo.

$$VM = a (VE) + b$$

donde:

- VM son valores medidos en la Encuesta
- VE son valores estimados del modelo
- ab coeficientes de la regresión.

Por iteración se busca un exponente que satisfaga los tests estadísticos con valores de (a) lo más cercano a 1.0 y de (b) lo más cercano a 0.0.

Durante las pruebas iniciales con datos simplificados se llegó a valores iniciales para (x) de 0.6 para el propósito "trabajo" y 0.7 para el propósito "estudio". Estos valores, anormalmente bajos de acuerdo a la bibliografía, serían consistentes con los hallazgos del modelo de generación y con los de otros trabajos realizados en el país.

Los coeficientes de atracción utilizados fueron el total de empleos para el propósito "trabajo" de acuerdo a fuentes antes mencionadas, y el total de Matriculas para el propósito "estudios".

En la primera versión del modelo se está utilizando la distancia a través de la red como indicador de la separación entre zonas. Esta variable no permite considerar en forma cómoda los problemas de congestión, por lo cual se espera introducir los tiempos calculados en el Modelo de Asignación para las siguientes versiones.

Modelo de asignación

La función del modelo de asignación en el esquema general es la de determinar las rutas

que seguirán los vehículos resultantes de las matrices de origen-destino.

En un problema como el de Viña del Mar es detectable a simple vista una gran cantidad de patrones de flujo generados por las decisiones de los que viajan al verse enfrentados a diferentes rutas posibles de las cuáles escogen una. Podemos decir entonces que en esta gran malla que representa la red vial de Viña existirá una gran cantidad de ecuaciones de conservación que deberán ser satisfechas; el reducir esta dimensión nos hará posible manejar el problema. El flujo total estará determinado por la superposición de todos los viajes, y para llegar a una definición única de un patrón de flujos deberán hacerse entonces algunas hipótesis de comportamiento que son explícitas a continuación. Mirando la forma en que los patrones de flujo son creados o podrían ser creados aparece entonces el problema de partición modal, problema obviado al generar viajes por modo, luego la asignación nos responderá qué rutas seguirán los viajeros cuando se les presenten diferentes alternativas para llegar de un punto de la red a cualquier otro. Dado que las motivaciones individuales son muy diversas, el método debe estar orientado a resolver en primer término el problema de llegar a determinar un patrón de flujos que sea el resultado de las motivaciones individuales y que a la vez nos permita decir que es el patrón general de comportamiento de los viajeros como un todo.

Volviendo ahora nuevamente sobre el punto de cómo uniformar la gran cantidad de motivaciones individuales de tal forma de generar un patrón de flujo representativo de ellas, dilema que hace necesario establecer una serie de hipótesis de comportamiento básicamente enfocadas sobre tres aspectos.

- sobre la Red
- sobre los Usuarios
- sobre los Vehículos

Haremos en una primera etapa una breve descripción de tales hipótesis en forma general y luego analizaremos su relevancia en el caso de Viña.

- *Hipótesis sobre comportamiento de usuarios*

Esta hipótesis se basa en la resistencia al viaje y la atractividad que presentan las dis-

tintas rutas. Supone que el conductor para elegir entre las rutas considerará:

- Tiempo de Viaje
- Comodidad
- Nivel de servicios
- Distancia

Para hacer la asignación deberemos por lo tanto construir un "factor de roce" (numéricamente en lo posible) que implique los factores antes descritos en la mejor forma posible.

Algunos estudios de comportamiento comparativo para usuarios de calles de primera magnitud realizados llegan a las siguientes conclusiones que nos ayudarán a definir el criterio a usar para asignar vehículos a la red.

— A medida que el tiempo de viaje en calles de primera magnitud aumenta, la ocupación de éstas disminuye.

— A medida que la razón entre distancia viajada por la calle de primera magnitud y la distancia viajada por una calle cualquiera de la red disminuye, la ocupación de la calle de primera magnitud disminuye.

— La mayoría de los conductores escogerán la calle de la magnitud que se le presente como alternativa cuando el tiempo de viaje es el mismo por cualquiera otra carretera, siendo la distancia por la calle de primera magnitud más larga.

— Algunos conductores no usarán calles de primera magnitud aunque el tiempo de viaje y distancia sean mayores por estas vías que por otras.

— Pocos conductores no usarán las calles de primera magnitud cuando el tiempo de viaje y la distancia por calles de primera magnitud sean más cortos.

De las anteriores evidencias empíricas podemos concluir:

El tiempo y la distancia no son valorados en igual forma por todas las personas y en muchos casos tales factores de roce ni siquiera son considerados.

Por lo tanto, la selección de tales factores es, y tenemos conciencia de esto, sólo una medida aproximada de un factor de roce que nos englose todas las motivaciones individuales. Lo anterior es particularmente válido en

el caso de Viña por tratarse de modelar una situación de tráfico urbano donde existan otros factores tanto o más importantes que los antes mencionados, como son: riesgo, seguridad, número de paradas, etc.

El criterio usado fue entonces hacer asignación básica, considerando los típicos factores de roce y acondicionar éstas con la influencia que podrían tener los otros índices relevantes en tráfico urbano en una etapa anterior; esto nos permite cubrir en gran medida los factores que condicionaran la asignación y por otra parte nos permite solucionar el problema, que de otra forma no habría sido posible dada la información de que disponemos.

Hipótesis sobre los vehículos

El método de asignación por nosotros usado considera dos tipos de vehículos: autos y buses, los que son puestos sobre la red en forma separada para luego superponerlos. Tal superposición sólo es posible cuantificando la equivalencia que existe entre las distintas clases de vehículos que hacen uso de vías urbanas (sólo autos y buses) para así transformar todos los viajes en viajes de autos.

Conversiones necesarias:

a) Viajes de personas por auto convertidas a viajes de autos.

Para esto hay que hacer hipótesis sobre promedios de ocupación de automóviles, que consideren en la forma más precisa posible los factores que condicionan una determinada tasa de ocupación (propósito de viaje, hora del viaje, condiciones de tráfico, autos por familia).

Mediciones en terreno mirando los anteriores factores, arrojan una tasa de ocupación que fluctúa entre 2,5 y 3,0 personas por auto en Viña del Mar, situación de verano.

Buses en unidades de pasajeros por auto. Para ello se hace uso de curvas de equivalencia.

Hipótesis sobre la red

Una vez definidas las zonas de generación es necesario precisar la posición de un punto en la zona donde se supondrá que se generan

todos los viajes de la zona; tal punto se conoce como nodo de generación.

Los criterios para ubicar estos nodos fueron los siguientes:

— Punto donde se concentra la mayor densidad poblacional de la zona.

— Puntos que son el centro de atracción de tráfico de la zona, vale decir, cruces de mayor importancia.

Llegando a determinarse 25 nodos de generación más 6 nodos de origen de tráfico (nodos por donde entran o salen vehículos hacia o desde la red de Viña del Mar).

Ante el problema de dónde definir los nodos, en los centros de las secciones de calles o en las intersecciones mismas, nuestra decisión fue por la segunda opción por las siguientes razones:

— El método de asignación usado requiere una malla de pequeño o mediano tamaño; el haber ubicado nodos en centros de secciones de calles, implicaría tener más nodos y más áreas para describir una misma situación (sólo se lograría más detalle del deseado).

— La segunda razón y tal vez la más importante por la cual escogimos los nodos en las intersecciones, fue que esta representación hace más manejable todo el problema de recargo de tiempo en las intersecciones incrementándose los costos de los arcos de uno a otro por esta razón.

Es muy frecuente que los tiempos a través de las intersecciones sean incluidos en el tiempo de viaje del arco, lo cual significa que no se hace distinción entre los tiempos que puede demorar cada una de las maniobras en la intersección (girar hacia la derecha, izquierda, o continuar en la misma dirección), sólo se considera una "gruesa" distribución diciendo que un 10% gira hacia la derecha, otro 10% gira hacia la izquierda y el resto continúa en la dirección en que venía. Si tenemos los tiempos de demora de cada uno de los movimientos podemos calcular el tiempo perdido en la intersección para un determinado volumen de tráfico que será conocido al asignar los vehículos a la red; estas demoras serán incluidas en los arcos, favoreciendo así aquellas rutas que tienen pocas intersecciones (es

lo que se da en la realidad). Una confrontación con las capacidades reales medidas y los niveles de servicio deseados hará variar el criterio de definición de una determinada ruta, reasignando nuevamente los vehículos a la red.

Hipótesis especiales a la situación viñamarina

La hipótesis básica en el desarrollo del modelo de asignación es la de que los usuarios del sistema, tanto peatones como automovilistas, se comportan de acuerdo a un criterio de tiempo mínimo. Esta hipótesis es bastante simplificatoria; el primer problema es que posiblemente el tiempo no sea el único factor que influya, sino que existen otras variables, tales como costo del viaje u otros factores imposibles de cuantificar, dando la impresión de que dentro de estas últimas estarían las variables que explican en mayor grado el padrón de utilización de la red. Esto último debido a los pequeños márgenes de diferencia entre los tiempos por rutas diferentes.

La red de asignación tiene muy pocos cambios en relación a la red utilizada para la medición de flujo; se han agregado algunos nodos que reflejan mejor la verdadera alternativa de tráfico para los usuarios; los nodos coinciden con intersecciones en la mayoría de los casos.

Anteriormente, se indicaba que los usuarios realmente no tienen elección de medio de transporte, esto nos llevaba a separar el fenómeno en dos, usuarios de automóviles y de transporte, estableciendo como hipótesis que el transporte de automovilistas que consideran como alternativa real el sistema de movilización colectiva es despreciable.

Metodología de asignación

La metodología consiste en construir separadamente matrices de accesibilidad para buses y automóviles. En primer lugar, se construyen las matrices de accesibilidad para buses para cada recorrido, en seguida se construye una matriz integrada para la totalidad de dichos recorridos, que nos indicará los tiempos de viaje más cortos entre los diferentes pares de puntos, utilizando la movilización pública.

La matriz de accesibilidad, contiene los tiempos de viaje entre todos los pares de puntos. El tiempo de viaje, para el caso de buses, se compone de tiempo de caminata, tiempo de espera y tiempos de viaje en buses. A su vez, los tiempos de viaje en bus contienen elementos derivados de características de los nodos y arcos de la red. El tiempo de viaje, en el caso de automóviles, depende fundamentalmente de las características de diseño y tráfico de la red.

Se supone que solamente existen viajes completos a pie entre zonas vecinas; en todo otro caso se considera el viaje realizado por algún medio de transporte. Los viajes en bus, así como en automóvil, se cargan a los nodos de la red que para el efecto se consideran como centros de zona.

Los viajes originados en zonas periféricas, se suponen concentrados a la entrada de la red vial de Viña.

Las matrices de accesibilidad, se construyen a partir de las matrices de incidencia, utilizando un método de Shimmel modificado.

El tráfico de buses es generado como variable exógena, siendo para los efectos de la asignación misma los recorridos fijos.

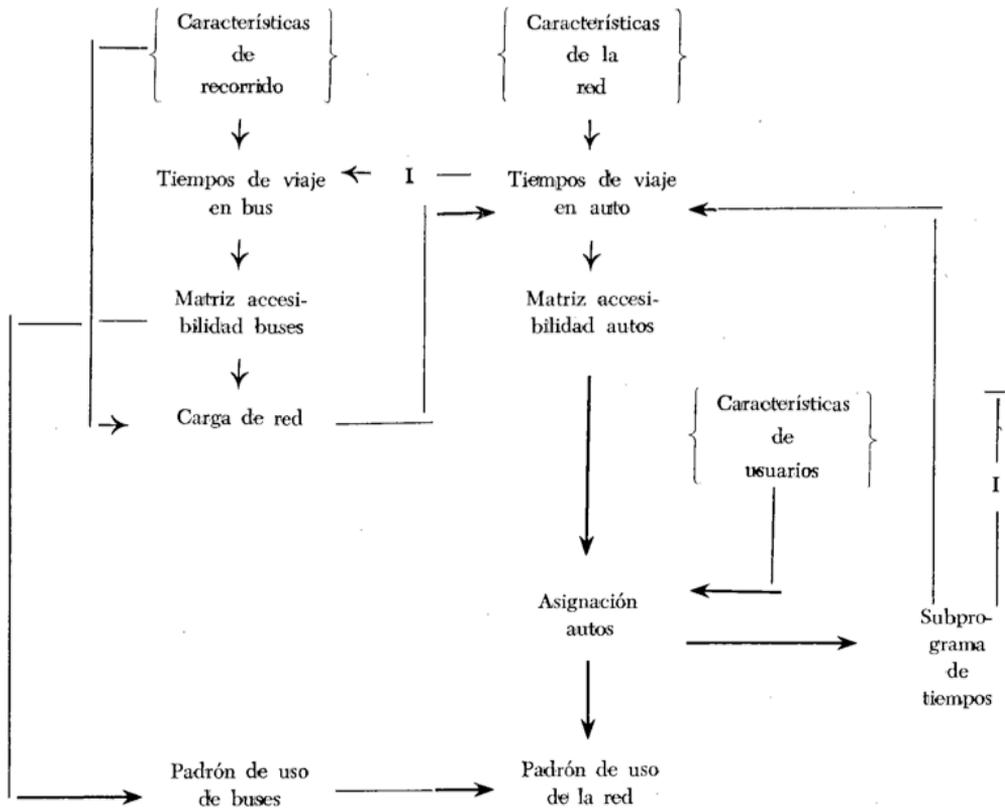
El proceso consiste, entonces, en cargar la red inicialmente con los buses y posteriormente se carga con los automóviles. El criterio para asignar automóviles es el de "todo o nada", pues el análisis de curvas de diversión se descarta por el problema de obtener evidencia empírica. Esto significa que una vez asignados los buses se modificarán los tiempos de viaje por rutas para la matriz de incidencia de automóviles. En seguida, se construye la matriz de accesibilidad y en una primera interacción, se asignarán los autos, o los caminos más cortos, comenzando con los flujos mayoritarios y chequeando permanentemente la capacidad de las rutas; cuando se sature un arco, se fija el volumen y se reparten los otros flujos en las rutas alternativas.

Una vez asignados los flujos, se procede a una segunda vuelta de modificación de tiempos de viaje, que consiste en calcular mediante un modelo auxiliar, los tiempos extras de viaje debido a congestión, intersecciones y

vueltas para las principales rutas. Al correr el modelo nuevamente, se rechequea el compor-

tamiento sobre la malla, llegando a una situación ideal de equilibrio.

Diagrama esquemático del modelo de asignación



Cálculo de pasos mínimos

INTRODUCCIÓN

El método de asignación ocupado requiere de un algoritmo eficiente para el cálculo de rutas más cortas entre cada par de puntos de malla.

En líneas generales podemos decir que los métodos de resolución para el problema de encontrar los costos mínimos entre cada par de puntos de la malla se pueden dividir en dos categorías:

—Aquellos que separada e independientemente encuentran la distancia más corta desde

un vértice en particular a todos los otros vértices, y

—Aquellos que encuentran la distancia más corta entre cada par de puntos de la malla interactuando todos ellos.

En la primera categoría se hablará de encontrar árboles mínimos, vale decir el paso más corto entre un nodo y todos los otros donde se desee una conexión, y en la segunda categoría se trabajará explícitamente con matrices de costos haciendo más fácil y eficiente el cálculo computacional; es por esta razón fundamentalmente que optamos por un método de la segunda clase como es el de la Cascada desarrollado por FARBEY, LAND y MURCH-

LAND, el cual hemos complementado con apuntes de SHIMBEL en este campo.

Método de la Cascada

Característica:

-Entrega todos los árboles mínimos para la malla en un solo cómputo.

-Requiere una representación matricial de la malla.

-El número total de sumas y comparaciones es:

$N \times (N-1) \times (N-2)$ (siendo N el número de nodos de la malla) lo que lo hace más ventajoso frente a otros métodos.

-Utiliza básicamente tres matrices:

a) Una de resultados (caminos más cortos o costos mínimos).

b) Una de cómputos.

c) Una matriz de adyacencia que indica las conexiones inmediatas de los nodos.

Notación:

-Los nodos y arcos son definidos en la forma clásica.

-Cada arco tiene asociado un número no negativo que representará el costo o distancia por recorrerlo.

-Paso es una cadena de arcos dirigidos (también se puede especificar por una secuencia de nodos adyacentes).

-Círculo = paso cerrado

-Largo o costo de un paso es igual a la suma de los arcos comprendidos.

-La distancia más corta o el costo mínimo entre dos vértices es el largo del paso más corto que une dichos vértices.

-Se permiten circuitos en los pasos.

-Los vértices que no están unidos en la realidad, son considerados como que están unidos en forma ficticia por un arco al cual hemos asociado una distancia o un costo infinito. Implica que el paso a través de nodos reales es siempre menor que el paso por nodos que no existen en la realidad.

El método parte con una matriz de adyacencia, entregando como resultado la matriz de accesibilidad a la cual se hizo mención anteriormente en este trabajo. (Recordar que existe una matriz de adyacencia para cada recorrido de buses, para peatones y para automóviles. Esto implica obtener matrices de accesibilidad asociadas a cada una de las de adyacencia existentes, para posteriormente determinar una matriz de accesibilidad única para recorridos de buses y peatones y otra para automóviles).

A partir de esta matriz de adyacencia, se obtiene la matriz de accesibilidad realizando dos operaciones básicas:

1ª Selección: Tomar el mínimo entre dos elementos cuando éstos representan distancias o costos entre el mismo par de vértices pero por pasos diferentes.

En otras palabras, llamemos $\begin{bmatrix} d^p \\ ij \end{bmatrix}$ a la matriz asociada a grafo G con n vértices, definida por:

$d^p_{ij} =$ largo del paso más corto entre ij

$d^p_{ij} = \infty$ si no hay paso entre ij

$d^p_{ij} = 0$ si $i = j$

p indicará la selección de que se trate. Así en esta primera selección se tendrá:

$\begin{bmatrix} d^p \\ ij \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d^0 \\ ij \end{bmatrix} =$ matriz de adyacencia original.

Luego de realizada la primera selección obtendremos $\begin{bmatrix} d^1 \\ ij \end{bmatrix}$ siguiendo el siguiente proceso:

$d^1_{ij} = \min_k (d^q_{ik} + d^r_{kj})$

donde $q = 0$ si $k \geq j$
 $q = 1$ si $k < j$
 $r = 0$ si $k \geq i$
 $r = 1$ si $k < i$

siendo d_{ik} = coeficiente de posición k-ésimo en fila i
 d_{kj} = coeficiente de posición k-ésimo en columna j

en otras palabras, los elementos de d^{11} serán calculados en el siguiente orden: $d_{11} \dots d_{1n}$; $d_{21} \dots d_{2n}$; ...; $d_{n1} \dots d_{nn}$.

Terminará esta etapa al tener una representación de $\begin{bmatrix} d^{11} \\ d^{ij} \end{bmatrix}$ que será almacenada como matriz intermedia y una matriz de adyacencia que será almacenada de igual forma, sirviendo ambas como input a segunda operación básica.

2ª Selección: Se tratará de encontrar el paso más largo al adicionar los dos pasos consecutivos más cortos.

El resultado de esta etapa será una matriz $\begin{bmatrix} d^{21} \\ d^{ij} \end{bmatrix}$ (matriz de distancias más cortas o de costos mínimos), y una matriz de adyacencia entre nodos final.

La matriz $\begin{bmatrix} d^{21} \\ d^{ij} \end{bmatrix}$ se obtiene a partir de: $\begin{bmatrix} d^{11} \\ d^{ij} \end{bmatrix}$ siguiendo el siguiente proceso:

$$d_{ij}^2 = \min_k (d_{ik}^1 + d_{kj}^1)$$

donde: $q = 1$ si $k \leq j$
 $q = 2$ si $k > j$
 $r = 1$ si $k \leq j$
 $r = 2$ si $k > j$

La definición de d_{kj} y d_{ik} sigue siendo válida.

2. Déficit de información

La metodología expuesta anteriormente lleva implícita la existencia de determinada información; aunque el proceso de elección de

método y prospección de la información es un proceso de ida y vuelta, se produjeron algunos desajustes, debido, principalmente, a que la información que se consideraba factible de obtener, después de ser procesada, no se comportaba muchas veces de acuerdo a las hipótesis con las cuales se construyó el modelo.

La información básica con que se cuenta para la realización del estudio es el trabajo del MOPT sobre el Área Metropolitana del Gran Valparaíso. Este estudio, junto a la encuesta origen-destino provee la información de intercambio entre zonas para la situación de invierno. Los datos sobre características de la población fueron provistos por el Censo, sin embargo, las zonas censales no son ideales para el objeto de nuestro estudio.

En cuanto a la información necesaria para describir el uso de la red, sólo se contaba con los recorridos de buses y su frecuencia teórica. La información que se debió generar para deducir los parámetros correspondientes del modelo es la siguiente:

- Principales rutas
- Tiempos de viaje
- Capacidades de arcos y nodos
- Ocupación de buses y automóviles
- Comportamiento de usuarios de Verano
- Utilización de principales arterias
- Comportamiento de usuarios y valoración del tiempo.

- El conocimiento de las rutas principales y sus características es previo a la determinación de la red y es necesario para la calibración posterior del modelo de asignación. Dado que no es simple para un computador detectar la estructura especial de una ruta, es preciso realizar un proceso manual en el cual se utilizan informaciones de la ruta tales como giros, número de intersecciones con o sin señalización y otras características propias de ella.

Sobre los tiempos de viaje en auto, buses o a pie no existía información. Esta información se debió construir y medir.

En el caso de los automóviles se mide el tiempo de viaje sobre los arcos y se realizan imputaciones teóricas para los tiempos en las

intersecciones. Es necesario además, determinar el tiempo de viaje en función del flujo.

Para el caso de viajes en buses, la medición de tiempo de viaje es más compleja pues tiene varios componentes como son el tiempo caminando, el tiempo de espera y el tiempo de recorrido mismo. Es común en el área de Viña del Mar que pasen por una ruta diferentes recorridos con el mismo destino, lo que implica la estimación de frecuencia y tiempo de espera.

Las capacidades de arcos y nodos es otra información necesaria para el desarrollo de un modelo de planificación de transporte para ser utilizados como datos básicos en la detección de cuellos de botella y por ende la proposición de alternativas de tráfico. En este caso las capacidades son construidas a partir de datos obtenidos en terreno los que son utilizados para derivar las capacidades con los métodos del Highway Capacity Manual.

La ocupación de buses y automóviles es utilizada al traducir los viajes de personas a carga efectiva sobre la red.

El comportamiento de los usuarios de Verano en cuanto a la estructura de viajes también era desconocida; este análisis se refiere al origen y destino de los viajes de Verano, los cuales tienen variables causales de diferentes especies. De partida la composición de la población cambia, sube la densidad de ciertas zonas y las motivaciones de los viajes son distintas a lo que ocurre en Invierno.

El grado de utilización de diferentes arterias y nodos nos servirá junto a la capacidad para determinar los standards de uso respectivos, a través de la modificación de los tiempos de viaje. En lo referente a nodos es importante conocer el tipo de maniobras que se realizan en él.

El otro tipo de información requerida es aquel que se refiere al comportamiento del usuario del sistema de transporte en cuanto a sus formas de operación en el caso de los automovilistas (tiempo de reacción, velocidades libres, etc.) y en cuanto a la valoración que le da al tiempo en general. En este último sentido no existe información, y en todo caso pareciera que en verano el factor tiempo para

la generalidad de los viajes no tiene una gran importancia, teniendo mucho mayor peso los aspectos de confort y comodidad.

2.1 Metodología de Medición de Flujo (situación de verano)¹¹

Selección de nodos. Para realizar las mediciones de flujo se seleccionaron aquellos nodos que presentaban problemas de congestión, los que eran intersecciones de arterias principales y los que eran entradas a la red. En general todos los nodos de medición coinciden con intersecciones, la distancia entre nodos es más pequeña en aquellas zonas donde se hace necesario un mayor detalle, tal como el Centro de Viña; hacia el Norte del estero los nodos se distancian más, no siendo necesario definir otras intersecciones pues en general los viajes que no tienen como origen o destino puntos dentro de la zona pasan por arterias importantes que nos definen sólo algunos nodos. Se eligieron 27 nodos.

Flujos por nodo. En cada uno de los nodos de medición se definieron separadamente los flujos de acuerdo a las posibilidades de circulación de los vehículos de modo que todas las maniobras quedaban cubiertas, pudiendo seguir en esta forma las rutas seguidas por los flujos principales. Los flujos son numerados para su identificación.

Composición del flujo. Cada flujo fue caracterizado por su composición en cuanto al porcentaje de vehículos livianos y vehículos pesados divididos a su vez en buses y camiones, micros y liebres.

Selección de muestra. La estructura de flujo es diferente para semana y fin de semana, por lo tanto, se trató de cubrir ambos fenómenos. Se realizaron durante el día tres medidas, la primera de 7.30 a 9.30, en seguida se midió el peak de mediodía y finalmente el peak de la tarde desde las 17.00 a las 19.00 horas. El tráfico de semana se midió los días martes y viernes y el de fin de semana sólo el sábado por imposibilidad técnica de hacerlo ambos días de fin de semana.

¹¹ Los flujos de invierno fueron tomados del "Plan de Transporte, Metrópolis de Valparaíso". M.O.P.T. DIPLA, Valparaíso, 1971.

Organización. Se contó con la colaboración de la Armada quien facilitó 50 hombres que debían ser repartidos en los diferentes nodos para medir flujos y ocupación de vehículos. En general los nodos eran cubiertos por grupos de entre tres y siete hombres que debían ser rotados de nodo en nodo a diferentes tramos horarios. La información fue vertida en formularios para ser posteriormente llevada a cuadros resumen. En la medida que se analizaron los primeros resultados se modificaron las horas de medición.

El conteo fue directo y continuo, en el sentido que se contaron todos los vehículos durante la totalidad del tramo horario seleccionado.

2.2 *Determinación de tiempos de viaje en la Red*

En el planteamiento inicial de la investigación, se asumió que sería posible determinar funciones tiempo —flujo o velocidad— flujo para los arcos de la red. Sin embargo, una vez en terreno se llegó rápidamente a la conclusión que en la mayor parte de ésta, salvo unos pocos sectores congestionados o situaciones pasajeras de flujo inestable, había un claro predominio de "velocidades libres", limitadas por factores de diseño: pendientes, pavimento, cruces y exceso de semáforos mal sincronizados. Se procedió por lo tanto, a determinar las velocidades libres, y restringir la búsqueda de efectos de la congestión a los tramos donde estas condiciones pudieron ser detectadas.

Se diseñó entonces un conjunto de "circuitos de medición" que atravesaban los tramos presumiblemente congestionados. Para efectuar la medición, fueron utilizados dos automóviles: un Renault 45 y un Austin 1000 que efectuaron los recorridos en forma repetida y simultánea con las mediciones de flujo, siguiendo la metodología utilizada anteriormente por uno de los autores¹², y utilizando el formulario que acompaña al texto.

El procesamiento de las mediciones mostró una gran variabilidad de las velocidades, con oscilaciones no siempre relacionadas con las

medidas de flujos correspondientes. Esta situación fue interpretada en términos de que el supuesto inicial de congestión en los arcos no era válido en términos generales, existiendo más bien congestión en cruces que obedece a una lógica bastante más complicada.

El alcance de las mediciones obtenidas, por lo tanto, fue reducido a una meta menos ambiciosa y fueron utilizadas tan sólo para determinar las "velocidades libres", las "velocidades límite" predominantes cuando la situación de congestión era indudable, y el nivel de flujo al cual se produjeron las "velocidades límite". Tales niveles de flujo serían, entonces, indicadores del volumen global de vehículos en la "región" correspondiente de la red más que causas identificadas del descenso de la velocidad en el tramo.

2.3 *Determinación de capacidad de red* *Introducción*

En un principio el estudio se enfocó a determinar la capacidad de las vías de la red de tránsito. La metodología inicial fue la de obtener empíricamente las curvas flujo-velocidad, sin embargo los resultados no fueron satisfactorios debido a la imposibilidad de obtener una buena muestra. La principal conclusión fue tal como era de prever, que los problemas de capacidad se concentraban en los núcleos de la red, y aún más, no en todos, sino solamente en algunos bien definidos. Lo anterior lleva a redefinir la metodología y desarrollarla de acuerdo a como se describe en el punto 2.

Deliberadamente se deja fuera de estudio los nodos no conflictivos, es decir, que no presentan problemas de congestión y que en la red esquemática ya definida corresponden a los nodos 19, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28. La metodología utilizada en la determinación de capacidades de nodos fue la descrita básicamente en el "Highway Capacity Manual" adaptando ciertos parámetros al caso específico del tráfico viñamarino.

Metodología utilizada en la determinación de nodos de capacidad

La metodología usada fue la desarrollada por el "Highway Capacity Manual": En esta obra se consideran la existencia de dos tipos de condiciones que afectan la capacidad de

¹² Ver J. Escudero, "Costos de la congestión de tráfico". Santiago, CIDU, 1969.

las intersecciones urbanas: fijas y variables. Las condiciones fijas a considerar son:

- Ancho de los accesos
- Zona urbana donde está ubicada la intersección: central, intermedia o suburbana, con carácter comercial o residencial.
- Pavimento, pendientes.
- Reglas sobre estacionamiento. Prohibido o permitido en los accesos.
- Sentido de la circulación. Circulación en los accesos en un sentido o en ambos.

La primera de estas condiciones afecta a todas las capacidades, y las demás no influyen sobre la capacidad básica. La ubicación de la intersección es una condición que refleja muchos factores, tales como el volumen de peatones, el número de vehículos estacionados en la vía pública, etc.

Por otra parte, las condiciones variables que afectan la capacidad de las intersecciones son:

- Omnibuses y Camiones. La presencia de omnibuses y camiones tiende a reducir la capacidad de las intersecciones, en términos del número total de vehículos, porque tienen menor poder de aceleración y ocupan mayor espacio en la calzada que los automóviles.
- Paraderos de Omnibuses. Este es en general, un factor limitante y en las intersecciones donde el estacionamiento está prohibido; por ejemplo, con pocos buses deteniéndose, el efecto que ejerce un omnibus sobre la capacidad de la intersección es el de tres a cinco automóviles.
- Movimientos de Giro. La proporción en que los movimientos de giro reducen la capacidad de las intersecciones depende de condiciones tales como la forma y disposición de las mismas, movimiento de peatones, volumen de tránsito en sentido opuesto y, desde luego, del número de vehículos que guíen a derecha e izquierda. Bajo condiciones adversas, este efecto puede ser tan grande que reduzca la capacidad práctica en un 50%.

En base a las consideraciones expuestas se han preparado curvas que relacionan el volumen total de vehículos que pueden pasar por un acceso con el ancho de los accesos, para diferentes condiciones fijas como el tipo de

zona donde está ubicada la intersección y las reglas de estacionamiento. Estas curvas han sido preparadas por el "Commettee of Highway Capacity" del Highway Research Board (1958) y corresponden a condiciones medias en los Estados Unidos. Se ha supuesto que los buses y camiones constituyen un 10% del tránsito total y que los movimientos de giro son un 20% del mismo. De esta manera se han fijado dos condiciones variables asignándoles valores medios para ese país.

El procedimiento seguido fue entonces, determinar las capacidades medias de los accesos en función de sus condiciones fijas, usando las curvas mencionadas, y suponiendo que las condiciones variables son iguales a las medias en los Estados Unidos. Posteriormente, se hicieron reajustes a esas capacidades medias de acuerdo con las condiciones variables del caso específico considerado. Las curvas descritas y el procedimiento para reajustar los valores medios obtenidos, desarrollados previamente en el "Highway Capacity Manual", fueron sacados del "Manual de Ingeniería del Tránsito" de Guido Radelat (1964), Capítulo XI: Capacidad para corrientes interrumpidas vehiculares, y no los repetiremos aquí.

Por último, cabe destacar que las capacidades calculadas fueron capacidades prácticas, es decir, el volumen máximo que puede ingresar en un acceso durante una hora, siempre que la mayoría de los vehículos puedan pasar por la intersección sin tener que esperar por más de un ciclo completo del semáforo. Esta definición proviene de la estimación de demora "intolerable" que hace el "Highway Capacity Manual" que establece que una demora es intolerable cuando un conductor debe esperar en un acceso durante más de una indicación de luz verde del semáforo. En promedio, esta capacidad práctica es un 10% menor que la capacidad media obtenida de las curvas usadas. Cabe hacer notar que prácticamente en todas las intersecciones es muy raro que un vehículo espere.

3. ELABORACIÓN PRIMARIA DE LA INFORMACIÓN

3.1. *Medición de standards de uso*

A partir de los flujos medidos en los nodos el verano de 1973 se pueden definir standards

de uso de los accesos para las horas de máxima congestión. Esto se obtiene comparando los flujos medidos con la capacidad práctica de cada nodo y en particular de cada acceso.

Definiremos standards de uso (SDU) como

$$SDU = \frac{F}{CP} \times 100$$

en que

SDU = es el standard de uso del acceso

F = flujo medido en el acceso para distintas horas de peak

CP = capacidad de práctica del acceso obtenida por la metodología anteriormente expuesta.

Esto nos permitirá definir una escala relativa y ordinal del standard de uso del acceso.

C U A D R O N º 5

Escala	SDU	Velocidad	Situación
A	Hasta 60%	≥ 35 ; ≤ 45	Flujo Libre (relativamente)
B	Hasta 70%	≥ 30 ; ≤ 35	Flujo Estable (Buen Nivel)
C	Hasta 80%	≥ 25 ; ≤ 30	Flujo Estable (Nivel Aceptable)
D	Hasta 90%	≥ 20 ; ≤ 25	Aproximándose a Flujo Inestable (nivel Tolerable)
E	Hasta 100%	≥ 15 ; ≤ 20	Flujo Inestable (Congestion)
F		< 15	Flujo Forzado (Partiendo-Parando)

Utilizando la clasificación anterior, podemos determinar el SDU de cada nodo para las horas peak consideradas en verano e invierno. Los resultados obtenidos aparecen en el Cuadro N° 6 para todos los flujos considerados.

El standard de uso de los nodos es un buen indicador del grado de congestión de la red en determinados nodos. Si es que con el objeto de tomar decisiones priorizamos la importancia del problema en cada nodo, el standard de uso sería un buen proxi, sin embargo, en rigor la importancia del problema no sólo depende del standard de uso, sino, que del volumen que pasa por cada nodo.

En la situación de verano los nodos congestionados corresponden al cinturón que rodea al centro de la ciudad, cinturón formado por las arterias Agua Santa, Alvarez, Libertad y Uno Norte (Nodos (3), (4), (5), (6), (12), (15) y (8)).

El ordenamiento según el standard de uso nos da la siguiente secuencia:

- 1.- Nodo 3
- 2.- Nodo 15
- 3.- Nodo 12
- 4.- Nodo 5
- 5.- Nodo 6
- 6.- Nodo 8
- 7.- Nodo 4
- 8.- Nodos 10, 7 y 14
- 9.- Nodos 1, 9 y 2
- 10.- Nodos 11 y 17

Nodos sin problemas:

- 1.— Nodo 20
- 2.— Nodos 13, 16 y 18
- 3.— Nodos 19, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28.

3.2. Principales aspectos de la situación de Invierno

El problema de invierno en Viña del Mar para las horas peak, se presenta principalmente en dos vías paralelas que rodean el centro y que permiten el acceso hacia él.

Estas son Alvarez y Uno Norte.

Hay que hacer notar que Alvarez recibe casi todos los flujos provenientes de Valparaíso y Santiago, o bien debe ser usado en las salidas de vehículos hacia estos lugares. Claramente, esto constituye una barrera de

entrada y salida a Viña del Mar por la zona sur.

Por otra parte, lo mismo ocurre con Uno Norte respecto a los flujos de entrada y salida de Viña por el norte y este.

Además, el cuadro de congestión se completa con problemas de tráfico en las tres arterias principales que cruzan el centro de Viña del Mar, de norte a sur, a saber: Von Schroeders, Ecuador y Libertad.

De acuerdo a los resultados observados el ordenamiento, según estándar de uso, nos indicaría que los problemas en orden de importancia decreciente son los siguientes:

a) Nodos congestionados:

1. Nodo 3.
2. Nodos 15 y 7.
3. Nodos 8, 12 y 14.
4. Nodos 4, 5 y 6.
5. Nodos 10, 11 y 16.
6. Nodos 9 y 21.

b) Nodos sin problemas:

1. Nodos 1, 13, 17, 18 y 20.
2. Nodos 2, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28.

3.3. *Comparación de situación invierno y situación verano*

Como primera cosa, hay que señalar que los problemas puntuales más importantes, en lo que se refiere a nodos conflictivos, se mantienen tanto en invierno como en verano. Esto se debe fundamentalmente a nuestro juicio, más bien por la baja capacidad de estos nodos y no a que tengan que soportar altos flujos en términos absolutos.

Un caso típico, es la intersección de Agua Santa con Alvarez que se mantiene atochado permanentemente desde las 11 horas hacia adelante, en verano, debido a los flujos sostenidos de veraneantes. En invierno la congestión se produce en el mismo orden de magnitud, pero sólo en las horas peak de la ma-

ñana y mediodía aliviándose durante el transcurso del día.

Cualitativamente, el problema de congestión del verano constituye una barrera que rodea el centro de Viña del Mar y que impide el acceso hacia él (demanda insatisfecha), con lo cual el nivel de atochamiento, en términos relativos, en el centro es más bajo que en el cordón que lo rodea. Esta situación se explica, en buena medida, por la gran atracción de viajes desde y hacia la costa (playas) para los flujos de turistas que convergen en esta época a Viña¹³.

Por el contrario, durante el invierno el patrón de viajes cambia totalmente y por ende, los flujos producidos. Los habitantes de Viña y alrededores, que trabajan en Viña, se dirigen fundamentalmente al centro, ya que ahí se concentra buena parte de la pequeña industria, de la actividad comercial y de los edificios públicos. Dentro de este punto, una de las interrogantes, es la ubicación de las escuelas y liceos, que tiene bastante importancia en la atracción de viajes (La encuesta de Origen y Destino le asigna el 34% de los viajes en el peak del mediodía a los estudiantes).

Es claro que este propósito de viaje que es importantísimo en invierno, desaparece prácticamente en el verano y pasan a predominar otro tipo de propósitos (turísticos).

Por último, uno de los factores que motivan la alta congestión en la Zona Central es el estacionamiento que existe escasamente en el centro. No hay ninguna playa de estacionamiento en el sector, de manera que debe requerir un análisis más profundo. Puede afirmarse que existe demanda por estacionamiento insatisfecha (muchos buscando dónde aparcar su coche), con lo cual se rebaja en gran medida la capacidad de las intersecciones y los problemas de congestión se agravan.

Revisando la capacidad de las intersecciones, se ve claramente lo expuesto. Por ejemplo, el nodo 9 presenta problemas justamente donde se permite el estacionamiento en las calles. Igual cosa ocurre con los nodos 7, 8,

¹³ Esto, porque los grandes sectores residenciales no están en el centro y para ir a las playas o al Puerto no requieren obligadamente pasar por él.

10, 11, 12, 15 y 17 que configuran el sector central congestionado. En base a esto, con- vendrá entonces buscar zonas de estaciona- miento en el centro de las manzanas, de ma-

nera de prohibir el estacionamiento en las ca- lles y con ello aliviar en forma importante los problemas de tránsito.

CUADRO N° 6
NIVEL DE SERVICIO Y % USO POR NODO
Situación verano

Nodo	Acceso	Hora y estándar (V/C)					
		Fin Sem. 12.30-13 %	N.S.	Sem. 13-13.30 %	N.S.	Sem. 18.30-19 %	N.S.
1	→ 1	62,92	B	82,53	D	62,23	B
	← 1	94,42	E	111,73	F	110,09	F
	← 1	15,29	A	10,07	A	14,41	A
3	→ 3	145,10	F	175,81	F	129,89	F
	← 3	200,91	F	175,85	F	173,12	F
	↑ 3	117,70	F	87,32	D	100,00	F
	↑						
4	→ 4	124,33	F	118,31	F	108,55	F
	← 4	67,91	B	35,29	A	50,53	A
	↓ 4	100,48	F	77,04	C	76,65	C
	→ 4	75,84	C	75,94	C	55,68	A
5	→ 5	230,17	F	182,28	F	180,35	F
	← 5	72,55	C	48,68	A	58,60	A
	→ 5	115,45	F	98,76	E	83,31	D
6	→ 6	135,85	F	81,47	D	89,24	D
	← 6	118,47	F	70,92	C	111,14	F
	→ 6	111,20	F	98,77	E	95,23	E
	↓ 6	68,62	B	73,20	C	82,67	D
	→ 6	62,39	B	47,81	A	55,72	A

CUADRO N° 6

(continuación)

Nodo	Acceso	Hora y estándar (V/C)					
		Fin Sem. 12.30-13 %	N.S.	Sem. 13-13.30 %	N.S.	Sem. 18.30-19 %	N.S.
7	↓ 7	144,38	F	114,38	F	112,63	F
	7 ←	72,65	C	53,53	A	51,24	A
8	8 ←	153,91	F	139,75	F	109,63	F
	↑ 8	157,62	F	99,22	E	77,65	C
9	→ 9	90,29	E	84,59	D	82,06	D
	← 9	23,15	A	18,23	A	19,10	A
	↑ 9	67,27	B	49,75	A	58,87	A
	↓ 9	127,02	F	87,46	D	110,82	F
10	↓ 10	64,09	B	47,50	A	53,14	A
	10 ←	177,08	F	148,75	F	130,00	F
11	↑ 11	107,28	F	67,65	B	77,28	C
	→ 11	98,84	E	75,75	C	80,36	D
	← 11	89,36	D	57,18	A	38,56	A
12	↑ 12	106,47	F	101,44	F	88,56	D
	↓ 12	148,41	F	93,65	E	128,30	F
	← 12	178,29	F	136,41	F	150,25	F
13	↓ 13	60,90	B	50,34	A	56,25	A
	13 ←	34,93	A	34,85	A	35,55	A
14	↑ 14	92,43	E	86,48	D	66,25	B
	← 14	114,78	F	129,96	F	145,71	F

CUADRO N° 6

(continuación)

Nodo	Acceso	Hora y estándar (V/C)					
		Fin Sem. 12.30-13 %	N.S.	Sem. 13-13.30 %	N.S.	Sem. 18.30-19 %	N.S.
15	↑ 15	133,23	F	152,41	F	110,42	F
	↓ 15	135,37	F	116,21	F	137,25	F
	→ 15	140,70	F	164,23	F	128,70	F
	← 15	156,05	F	188,16	F	200,00	F
16	↑ 16	63,27	B	72,50	C	62,33	B
	↓ 16	84,30	D	76,16	C	68,89	B
	→ 16	75,45	C	79,31	C	61,93	B
	← 16	71,92	C	58,02	A	79,11	C
17	→ 17	100,96	F	81,71	D	69,86	B
	↓ 17	40,79	A	35,11	A	53,40	A
	← 17	11,87	A	10,50	A	8,56	A
	↑ 17	70,54	C	59,68	A	21,70	A
	← 17	70,08	C	64,15	B	65,76	B
18	↑ 18	63,21	B	72,71	C	59,41	A
	↓ 18	89,16	D	60,08	B	80,52	D
	→ 18	58,90	A	41,97	A	33,15	A
	← 18	32,01	A	10,06	A	16,46	A
20	↑ 20	57,65	A	55,23	A	38,50	A
	↓ 20	90,08	E	77,26	C	99,14	E
	← 20	67,12	B	67,81	B	48,66	A
21	↑ 21	130,33	F	134,08	F	89,88	D
	← 21	53,54	A	44,27	A	48,64	A
	→ 21	84,87	D	79,25	C	94,77	E