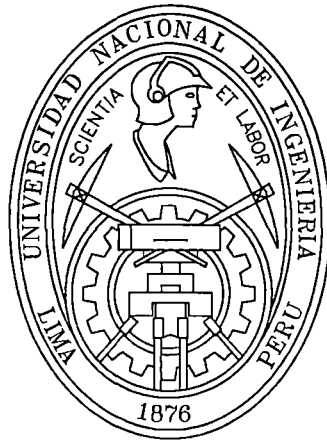


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



RECALIBRACIÓN DEL MODELO DE DEMANDA
DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DEL METRO DE LIMA

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Iván Tucta Baldeón

Lima - Perú

2002

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

**RECALIBRACION DEL MODELO DE
DEMANDA DEL SISTEMA DE
TRANSPORTE DEL METRO DE LIMA**

INDICE

INTRODUCCION	v
1. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE	1
1.1 Demanda de transporte	2
1.2 Oferta de transporte	5
1.2.1 Infraestructura	5
1.2.2 Vehículos	7
1.3 Equilibrio de la Oferta y la Demanda	9
2. PLANIFICACIÓN Y MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE	11
2.1 Planificación analítica de transporte	11
2.2 Modelos de transporte	13
2.3 Estructura general de un modelo de transporte	15
3. EL MODELO DE TRANSPORTE URBANO	20
3.1 Recolección de datos, Zonificación y Redes de transporte	22
3.1.1 Recolección de Datos	22
3.1.1.1 Encuestas de Preferencias Reveladas (EPR)	23
3.1.1.2 Encuestas de Preferencias Declaradas (EPD)	26
3.1.1.3 Encuestas de Origen y Destino (O – D)	27
3.1.2 Zonificación y Redes de transporte	30
3.1.2.1 Zonificación	30
3.1.2.2 Redes de Transporte	34

3.2	Generación de viajes	41
3.2.1	Definiciones previas	41
3.2.2	Clasificación de viajes	42
3.2.3	Variables involucradas en la generación de viajes	42
3.2.4	Métodos de predicción de producción de viajes	46
3.2.5	Vectores Origen y Destino	48
3.3	Distribución de viajes	51
3.3.1	Modelos de distribución	52
3.3.1.1	Método de Factor de Crecimiento	53
3.3.1.2	Método Gravitacional	53
3.4	Partición Modal	62
3.4.1	Modelos agregados y desagregados	63
3.4.2	Modelos de elección discreta (MED)	65
3.4.3	Marco teórico de los Modelos de Elección Discreta	67
3.4.4	Factores que influyen en la elección de un modo	69
3.5	Asignación de viajes	71
3.5.1	Conceptos previos	72
3.5.2	Métodos de asignación	76
3.5.2.1	Elección de una ruta	76
3.5.2.2	Procedimiento de método de asignación	78
3.5.2.3	Árbol de Rutas	78
3.5.2.4	Asignación Todo ó Nada	82
3.5.2.5	Métodos Estocásticos	83
3.5.3	Asignación con congestión	84
3.5.3.1	Equilibrio de Wardrop	85
3.5.4	Asignación de transporte público	88
3.5.4.1	Elección de ruta y Asignación	89
4.	RECALIBRACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE	93
4.1	Calibración de la oferta de transporte público	100
4.1.1	Actualización de la red de rutas	100
4.1.2	Calibración de los vehículos de transporte público	102
4.2	Calibración de la demanda de transporte privado	107
4.2.1	Calibración de la distribución	109
4.2.1.1	Ajuste por Líneas Cortina y Diagrama de frecuencias	110
4.2.2	Asignación de la matriz y calibración	111
4.2.2.1	Calibración de los tiempos de viaje	113

4.2.2.2	Calibración de las funciones volumen – demora	118
4.3	Calibración de la oferta de transporte privado	122
4.4	Calibración de la demanda de transporte público	128
4.4.1	Relación entre los tiempos de transporte público y privado	129
4.4.2	Ajuste de la matriz por producción y atracción	133
4.4.3	Calibración de la distribución	134
4.4.3.1	Ajuste por Líneas Cortina y Diagrama de frecuencias	139
4.4.4	Asignación de la matriz	140
4.4.4.1	El valor del tiempo	142
4.4.4.2	Las variables de la función de costo	143
4.4.4.3	La restricción de la capacidad vehicular	144
4.4.4.4	Asignación y calibración de los tiempos de viaje	145
4.4.5	Calibración de la asignación	149
5.	COMENTARIO DE RESULTADOS	156
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	168
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170
	ANEXO A. EL VALOR DEL TIEMPO	171
	ANEXO B. RESULTADOS DE LOS PERIODOS TARDE Y VALLE	178
	ANEXO C. AFOROS DE VEHICULOS Y PASAJEROS	186
	INDICE DE GRAFICOS Y TABLAS	211

INTRODUCCION

El transporte es una actividad que se deriva de otras actividades realizadas en un área determinada, ya sea un país, una región, una ciudad, una comunidad o un barrio. Éste último *conjunto de actividades*, que está relacionado con el trabajo, educación, recreación, etc., es la que genera ciertas necesidades de viaje o *demanda* dentro del área anterior. Esta demanda es satisfecha por una *oferta*, que está constituida por vías, vehículos, y normas de gestión. La interacción entre actividades, demanda y oferta, produce un *patrón de flujos* de viaje entre distintos orígenes y destinos, en diferentes medios o modos de transporte, por diferentes rutas, y en distintos periodos del día. Este patrón se manifiesta, dentro del ámbito de una ciudad, en forma de tránsito urbano de personas y vehículos, y del cual formamos parte todos los usuarios.

Los patrones de flujo reflejan el comportamiento de viaje de los usuarios de un sistema de transporte. Una herramienta para medir, analizar y pronosticar tales patrones son los modelos de transporte, los cuales surgieron por la necesidad de simular, de forma analítica y cuantitativa, las razones y atributos que consideraba un usuario para realizar un viaje. Con el tiempo, estas herramientas fueron desarrolladas para que también predijeran los movimientos futuros dentro del área que se desea analizar.

Cuando se crea un modelo, primero, se toma en cuenta las variables socioeconómicas involucradas en las actividades desarrolladas en el área de estudio, así como las características de la demanda y oferta de transporte. Luego,

se analiza y relaciona la información anterior hasta llegar a un equilibrio entre la demanda (generada por actividades socioeconómicas) y la oferta, de modo que se obtiene un modelo *calibrado* a un momento determinado. Es decir, que pueda simular y pronosticar, lo más preciso posible, el comportamiento de viaje del área de estudio.

La generación y calibración del último modelo en Lima se realizó en 1998 por encargo de la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico (AATE). El año 2001, la misma entidad decidió que era necesario volver a calibrar el modelo para utilizarlo en los nuevos estudios que programaban ejecutar. De esta manera, se procedió a re-calibrar el modelo, cuyo proceso y resultados son presentados en esta tesis.

El presente trabajo se ha dividido en cinco partes o capítulos. Los dos primeros, nos introducirán a los conceptos básicos concernientes a un sistema de transporte y la utilización de modelos para la representación de éste.

La tercera parte, se dedica de forma exclusiva a analizar los modelos de transporte urbano, donde se presentará el conocido modelo de cuatro etapas. Dentro de este mismo capítulo, primero se verán los aspectos relacionados con la recolección de datos, importancia de ésta y los tipos existentes, así como su relación con la zonificación del área de estudio y la creación de redes para la misma. Luego, se expondrá los conceptos de las cuatro fases de un modelo clásico: Generación, Distribución, Partición Modal y Asignación. Cada uno de ellos será analizado de manera minuciosa, porque serán el sustento teórico para el siguiente capítulo.

La recalibración del modelo, que da origen al título de este trabajo, es visto en la cuarta parte. Este proceso, será presentado de acuerdo a la metodología utilizada por los profesionales de la AATE. En ella, se verá las técnicas utilizadas para lograr el objetivo, así como los resultados obtenidos para el periodo punta de la mañana, el cual es uno de los tres periodos analizados.

En la quinta y última parte, se comentará los principales indicadores y resultados obtenidos de esta nueva calibración, y de donde se extraerá las principales conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

Finalmente, quisiera agradecer, en la persona de Javier Cornejo Arana, Gerente de Desarrollo, a todo el personal de la Gerencia de Desarrollo de la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico, que me brindaron su incondicional apoyo en la elaboración de este trabajo. Un agradecimiento muy especial a Rómulo Chinchay Romero, Jefe del Área de Planificación y a Alfonso Castro Orihuela, Jefe del Área de Modelación, por sus invalorable contribuciones.

COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE

Cualquier sistema que *oferte* un servicio o producto está sujeto a lo que *demanden* los usuarios. Un sistema de transporte no está exento de esta condición pero con ciertas particularidades que lo hacen único dentro de todas las industrias de servicios. La demanda por servicios de transporte ha crecido sustancialmente en algunos países, especialmente en vías de desarrollo, lo que ha significado un incremento de la congestión, accidentes y problemas ambientales. Sin embargo al progresivo incremento de la demanda no le ha seguido un proceso similar con el servicio que se oferta. Años de desatención en la infraestructura del transporte ha llevado a que ésta se encuentre, en muchos países de la región, en sus capacidades límites. Según un informe, del año 1997, del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se necesitaría una inversión de entre US\$14 mil millones y US\$18 mil millones anuales para rehabilitar y modernizar el sector transporte en América Latina en los próximos diez años [1]. De lo anterior, se desprende que será complicado realizar una mejora, a pesar de los esfuerzos de los gobiernos por hacerlo. Asimismo, se empezó a diferenciar dos aspectos que siempre van de la mano: demanda y oferta, y que los problemas no se resolverán atendiendo sólo uno de ellos. Es obvio también que, los problemas no se solucionarán de forma inmediata, por

lo que es necesario una política de planificación que tome en cuenta las características propias que tiene cada uno de estos dos componentes que conforman un sistema de transporte.

1.1. DEMANDA DE TRANSPORTE

La demanda de servicios de transporte es altamente cualitativa y diferenciada. Existe un amplio rango de demandas específicas para el transporte las cuales se diferencian, por ejemplo, por momento del día, por día de la semana, por propósito de viaje, por tipo de carga, por velocidad de desplazamiento y frecuencia [2]. De esta manera se explica cómo una gran cantidad de personas solicita servicios de transporte público sólo en determinadas horas del día, y como otro grupo – transporte de carga – requiere servicios de transporte de grandes volúmenes a grandes velocidades.

Por tal motivo un sistema de transporte, al tener requerimientos diferentes por parte de los usuarios, debe atender las características propias de éstos, porque de no hacerlo o lograrlo de forma parcial, se tornaría en deficiente. Esta es una política particular e inherente de cualquier sistema dentro de una industria de servicios, pero la diferencia está en que si el sistema que se utiliza –que abarca toda una ciudad o región y que es el único que brinda las autoridades gubernamentales – no satisface a los usuarios, éstos no pueden cambiar a otro.

Esto hace ver que se tiene que cubrir las particularidades propias de la demanda diferenciada, haciendo más difícil el análisis y el pronóstico de ésta, y de los pasajeros-kilómetro y carga-kilómetro debido al inmenso rango de los requerimientos.

Otro punto importante es que la demanda de transporte es derivada, es decir se deriva de otras actividades. Es necesario tener presente que el transporte es un medio para llegar a un fin, no es el fin en sí mismo. En otras palabras, con la posible excepción de los paseos turísticos, las personas viajan hacia un destino

para satisfacer una necesidad: trabajo, estudio, compras, recreación u otras. Viajan porque necesitan hacerlo. Esta característica se presenta también en el transporte de carga, y es inclusive más notoria: nadie moviliza bienes por placer, sino porque éstos son necesarios en algún lugar.

Un buen sistema de transporte mejora las oportunidades de satisfacer estas necesidades derivadas, mientras que un sistema altamente congestionado y pobremente interconectado, restringe las opciones y limita el desarrollo económico y social.

Para entender mejor esta característica, se debe entender la manera de cómo están distribuidas en el espacio las actividades que satisfacen las necesidades humanas e industriales, tanto en el ámbito urbano como regional.

La demanda de transporte se realiza sobre el espacio. Aunque parezca una frase obvia, son las actividades sobre el espacio las cuales hacen posible la demanda de transporte. Entiéndase por espacio, al terreno físico que es utilizado por las personas o industria para realizar alguna actividad, y que generará flujos de demanda hacia la zona donde se encuentra. Un ejemplo clásico es la ubicación del centro de trabajo. Si la ubicación de éste representa una dificultad para la persona, (digamos es muy lejano de su hogar y no existe forma rápida de transportarse), tratará –en la medida de lo posible– de hacer dos cosas: o se cambia de trabajo o encuentra un lugar más cerca donde vivir. Pero de cualquiera de las dos formas, la ubicación espacial del centro de labores ha llevado que se modifiquen los viajes de una zona a otra.

La gran mayoría de los problemas de transporte consideran este tratamiento explícito de la espacialidad de manera inevitable. El enfoque más común en el tratamiento del espacio es la división del área de estudio en zonas y la codificación de éstas, de manera que sea fácil la identificación y el procesamiento de los datos mediante la utilización de programas de computadora, así como para su posterior relación con las redes de transporte.

La espacialidad de la demanda usualmente lleva a problemas de falta de coordinación, lo cual puede afectar enormemente el equilibrio entre oferta y demanda de transporte. Por ejemplo, en ciertas horas del día, el servicio que brindan las camionetas rurales tipo combi puede tener una gran demanda en alguna parte de la ciudad, mientras que en otros sectores estén esperando por pasajeros. De otro lado, la concentración de población y actividades económicas en corredores bien definidos puede llevar a justificar económicamente un sistema de tránsito rápido masivo de alta calidad, el cual no sería justificable en un área esparcida.

Finalmente, la demanda y oferta de transporte tienen elementos dinámicos muy fuertes. Una buena cantidad de la demanda para transporte está concentrada en algunas pocas horas del día, especialmente en zonas urbanas donde la mayor congestión sucede en específicas horas punta. Esta característica de ser variable en el tiempo hace que la demanda de transporte sea más difícil - e interesante - de analizar y pronosticar, especialmente en una ciudad como Lima que cambia bastante en poco tiempo.

Desde un punto de vista económico, una distribución más equilibrada de la demanda en el tiempo reduciría indudablemente el costo de la producción de los servicios de transporte (en las variables pasajero-kilómetro y carga-kilómetro), o elevaría la calidad del servicio sin aumentar el costo. Sin embargo, es normal que un servicio como el transporte sufra este tipo de fluctuaciones, ya que casi todas las industrias de servicio se enfrentan con el mismo problema, porque al parecer todas las personas prefieren comer, dormir, trabajar, jugar y tomar vacaciones al mismo tiempo que las demás.

Puede darse que un sistema de transporte pueda sobrellevar bien la demanda promedio de viajes en un área determinada en horas valle¹, pero que puede colapsar durante los periodos de hora punta. Para evitarlo, se debe diseñar el sistema de manera que atienda a todos los probables usuarios que lo utilizarán.

¹ Se denomina hora valle, a aquel periodo del día donde existe poca demanda, es decir fuera de las "horas punta".

1.2 OFERTA DEL TRANSPORTE

Una característica distintiva de la oferta de transporte es que es un servicio y no un bien. Por lo tanto, no es posible almacenarlo para poder usarlo en tiempos de mayor demanda. Un servicio de transporte debe usarse en el momento y en el lugar donde es producido, de otra manera sus beneficios se pierden. Por esta razón, es muy importante estimar la demanda con la mayor precisión posible para ahorrar recursos adaptando la oferta de servicios de transportes. Respecto a este punto, los modelos de transporte son de gran importancia porque pronostican y calculan los flujos de demanda de una zona o región de la manera más fiel posible.

Varias de las características de la oferta del transporte derivan de su naturaleza de servicio. En términos generales, cualquier industria o sistema de servicios necesita equipos de capital y un sistema de transporte no es ajeno a tal condición, sólo que posee un rasgo que lo hace diferente de otros: parte de su equipo no es fijo sino móvil [3]. Esto es, un sistema de transporte requiere no sólo de un número de bienes o unidades fijas denominadas *infraestructura*, sino de un número de unidades móviles, *los vehículos*. Es la combinación de estos dos elementos, más una serie de reglas para su operación, lo que hace posible el traslado de pasajeros y mercancías.

1.2.1. Infraestructura

La infraestructura es el bien fijo de la oferta de transporte e incluye –desde el punto de vista de transporte terrestre– autopistas, carreteras, vías férreas, puentes, y todo lo que puede ser considerado como instalación fija en el servicio de transporte. Obviamente que otros sistemas como el aéreo y el marítimo también tienen elementos que se ajustan a este concepto.

Una característica de la infraestructura – y por ende de la oferta – es que no puede proveerse de manera fraccionada, es decir no se puede proveer la mitad de una vía, o la tercera parte de un puente. Tiene que implementarse un juego

completo de instalaciones para que pueda funcionar el sistema. En ciertos casos, existe un esquema para brindar de forma gradual este tipo de instalaciones a medida que crece la demanda. Por ejemplo, se puede construir una vía no pavimentada en una primera etapa, para que de acuerdo al incremento de los usuarios y de su importancia se realice algún tratamiento superficial en una siguiente etapa, y que en una instancia final se pavimente y adapte para que soporte una demanda superior. De esta manera se evita inversiones iniciales innecesarias en la provisión de infraestructura.

Existen otras dos características que se derivan de la anterior. En primer lugar, la provisión de infraestructura de transporte es costosa; y en segundo lugar, que toma bastante tiempo llevarla a cabo. El mismo hecho de que no se pueda fraccionar la provisión de este tipo de instalaciones ha conllevado que su construcción sea generalmente costosa y que solamente sea el Estado el que posea la capacidad para solventarlo. Pero, en países como el nuestro esto no necesariamente ocurre de esa manera, ya que inclusive el Estado tiene que solicitar préstamos de entidades internacionales para llevarlas a cabo. Y es aquí donde ingresa la segunda característica. Generalmente las entidades internacionales apoyan a países como en desarrollo en la provisión de infraestructura que realmente signifiquen una mejora en la oferta de los sistemas de transporte, y por lo tanto se realizan estudios y proyectos que pueden durar años en llevarlas a término. Es decir que desde la concepción hasta la total implementación y puesta en servicio pueden transcurrir desde 5 a 15 años o inclusive más.

Adicionalmente, las inversiones en transporte tienen un importante rol político. Usualmente los políticos de países en vías de desarrollo consideran a los proyectos de transporte como un salvavidas de su gestión, porque demuestran que tales funcionarios se preocupan por los ciudadanos que los eligieron, logrando que éstos o la prensa no puedan probar lo contrario. Esto en países latinoamericanos se ve muy a menudo especialmente en las inversiones en carreteras. Por tal razón es muy importante que aquellos que toman las decisiones tengan un gran juicio político y un buen respaldo técnico que

sustente los proyectos. Por estas razones es que es muy importante el planeamiento, análisis y la investigación en el sector transporte, porque de otra manera las soluciones que se plantean en un momento pueden crear problemas en el futuro.

1.2.2 Vehículos

El equipo móvil de un sistema de transporte está conformado por autos, omnibuses, camiones, trenes, etc., es decir todas aquellas unidades móviles que prestan servicios para trasladar pasajeros y mercancías de un lugar a otro. Los vehículos tienen algunas características que contrastan por completo de la infraestructura: generalmente no son costosos y tienen una vida útil relativamente menor.

En el ámbito del transporte urbano en nuestro medio, que es el que concierne a este trabajo, las unidades son relativamente baratas. Los omnibuses, microbuses, camionetas rurales y autos particulares que brindan este tipo de servicio están al alcance financiero de los individuos, aunque no necesariamente sean reemplazados al término de su vida útil. Según un estudio elaborado el año 2000 [4], el automóvil peruano y la flota operativa de transporte público se distinguían por su larga vida útil y su obsolescencia. Los primeros tenían en promedio una edad de 17 años, mientras que los segundos se desagregaban en ómnibus 18 años, microbuses 15 años y camionetas rurales 11 años.

Es debido a la característica de no ser costosas que las unidades de transporte han contribuido de manera importante a ocasionar los problemas del transporte. El escaso capital que se necesita para brindar servicios de transporte hace que cualquier persona pueda incursionar en el mercado haciendo de éste un medio altamente competitivo. En nuestro medio, no hay mejor ejemplo que el transporte público en la ciudad de Lima. En 1991, el Estado desreglamentó el transporte público urbano y levantó las restricciones de importación de todos los tipos de vehículos usados y nuevos, a la vez que

permitió que cualquier operador pudiera solicitar licencia para rutas de transporte. Esto llevó a que durante la década pasada ingresaran de manera explosiva miles de camionetas rurales tipo combi, así como otros tipos de unidades, a prestar servicio de transporte público y privado aumentando el parque automotor de la ciudad como se muestra en la Tabla 1.1. Inicialmente el incremento de la oferta de vehículos significó una mejor prestación del servicio público de transporte urbano de pasajeros, pero lo que luego, a finales de la década, se transformó en un caos debido a la excesiva cantidad de unidades en las vías de la ciudad. Esto hizo que la gran mayoría de pequeñas empresas de transporte operara – y opere actualmente – por debajo de sus límites de ocupabilidad, lo cual se traduce en una alta competitividad entre ellos donde prima el lucro y la necesidad de subsistir, brindando a los usuarios un bajo nivel de prestación del servicio.

Tabla 1.1. Parque Automotor de Lima y Callao al 31 de Diciembre de 1998

Año 1998	Unidades
Automóviles	414 712
Station Wagon	75 395
Camionetas Pick-up	72 416
Camionetas rurales	62 387
Camionetas panel	11 721
Ómnibus	29 427
Camiones	41 707
Remolcadores	6 281
Remolque y semi-remolques	6 093
TOTAL (1998)	720 139
TOTAL (1990)	397 623
Incremento entre 1990-1998	81%

Fuente: Referencia [4]

Elaboración: Propia

Uno de los aspectos más importantes del problema de la oferta de transporte es la congestión. Este es un término difícil de definir a pesar de que todos

creemos saber exactamente lo que significa. Sin embargo, varios expertos coinciden que lo que se considera como congestión en ciudades como Lima, es considerado como flujo fluido o no congestionado en ciudades como Londres o Hong Kong. La congestión se presenta cuando los niveles de demanda se acercan a la capacidad máxima de alguna vía y cuando el tiempo requerido para su uso, es decir para cruzarla, se incrementa muy por arriba del promedio. En el caso de infraestructura de transporte, la inclusión de un vehículo adicional genera retrasos a los otros usuarios. La inclusión de un auto adicional hace que el retraso de todos los usuarios sea mucho mayor a altos niveles de flujo que a bajo niveles del mismo. Este es un efecto externo de la congestión que es percibido por otros, pero no por el conductor que lo origina.

1.3 EQUILIBRIO DE LA OFERTA Y LA DEMANDA

En términos generales, el rol del planeamiento del transporte, dado un sistema de transporte con cierta capacidad operativa, es asegurar la satisfacción de una cierta demanda D de movimientos de personas y bienes con diferentes propósitos de viaje, en diferentes momentos del día y del año y usando diferentes modos de transporte. Por lo tanto un sistema de transporte puede verse como la reunión de:

- Infraestructura (una red de carreteras)
- Un sistema de gestión y manejo
- Un grupo de modos de transporte con sus operadores.

Si se considera un volumen de vehículos V , en una red de transporte que presenta una velocidad S , con una capacidad operativa Q y bajo un sistema de gestión M , en términos generales, la velocidad de la red de transporte puede representarse por:

$$S = f(Q, V, M)$$

La velocidad o el tiempo de viaje de una red pueden ser tomados como una aproximación inicial del nivel de servicio que ofrece un sistema de transporte a

los usuarios. Es decir, si el sistema brinda un tiempo de viaje o velocidad adecuados, se puede decir que el servicio es bueno. Entonces, como en el caso de la mayoría de bienes y servicios, se espera que la demanda D sea dependiente del nivel de servicio que provee el sistema de transporte y de la distribución de las actividades A sobre el espacio:

$$D = f(S, A)$$

La combinación de estas dos expresiones puede servir para ubicar puntos de equilibrio entre la oferta y demanda de transporte en un sistema fijo. Sin embargo, debido a que los niveles de servicio pueden cambiar a través del tiempo y del espacio, el sistema en sí mismo puede modificarse por completo. Por tal razón generalmente se obtienen dos tipos de puntos de equilibrio: a corto y largo plazo. La tarea de la planificación del transporte es pronosticar y manejar esos puntos de equilibrio a través del tiempo haciendo uso de modelos de transporte que simulen el sistema.

REFERENCIAS

1. VERA A., Arturo, *La infraestructura de transporte en América Latina*, Banco Interamericano de Desarrollo, Washington DC, Estados Unidos de América, 1997.
2. ORTUZAR, J. de D. y WILLUMSEN, L.G., *Modelling Transport*, John Wiley & Sons, Inc, London, 1996.
3. THOMSON, J.M., *Teoría económica del transporte*, Alianza Editorial S.A., Madrid, 1976.
4. VAN DEN AKKER, Jan y TAPIA, Juan. *Energía, Ambiente y Transporte en Lima Metropolitana*, VDA Groep. Amersfoort, Netherlands, 2001.

PLANIFICACION Y MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE

2.1. PLANIFICACIÓN ANALÍTICA DEL TRANSPORTE

El crecimiento progresivo de las ciudades y la incorporación de elementos mecánicos que nos facilitan la movilización de un lugar a otro, hizo que poco a poco se necesitara poner un orden a todas estas actividades. Por tal razón es que junto con la planificación de una ciudad, se planteó la necesidad de planificar los sistemas de transporte que éstas tenían, de manera que ambos tengan una misma orientación futura.

La necesidad de planificar el transporte se hace evidente desde el momento que realizamos actividades diarias que involucra el traslado de un lugar a otro. En un día cualquiera, una ciudad entera bulle en actividad porque miles de personas realizan viajes de trabajo, estudios, compras y ocio y dependen de su sistema de transporte. Adicionalmente, la planificación ahora involucra otros aspectos como la congestión y la contaminación ambiental que están siendo tomadas con mayor énfasis recientemente.

Para planificar un sistema de transporte se necesita tener en cuenta aspectos de urbanismo, ingeniería, sociología, economía y administración. Por lo tanto en este tipo de planificación se necesitan muchos datos de entrada o fuentes de información para que, luego de varios análisis, se hallen conclusiones que permitan tomar decisiones. Uno de estos análisis, es aquel relacionado con técnicas cuantitativas que sirven para pronosticar el comportamiento de ciertas variables de un sistema de transporte. Estas técnicas cuantitativas se agrupan en los llamados *modelos de transporte*, por lo que muchos autores llaman a éstos – los modelos – como parte de una planificación analítica de un sistema de transporte.

En la planificación analítica de estos sistemas, se observa claramente tres fases básicas para enfrentar el problema: fase de información, análisis y construcción del modelo; fase de creación de escenarios futuros; y fase de evaluación.

La fase de información, análisis y construcción del modelo puede resumirse en contestar la siguiente pregunta: ¿cuál es la demanda total de viajes de la ciudad?. Para responder a esta pregunta se toman datos de la demanda de viajes y su ubicación espacial y se realizan análisis de esta demanda en relación con el medio urbano. Este examen proporciona los medios para la creación de *modelos* de estas relaciones que pueden ser utilizados en la siguiente fase. La fase de creación de escenarios futuros utiliza las relaciones perfiladas de la fase anterior para hacer estimaciones de la demanda futura de viajes en diferentes escenarios o situaciones hipotéticas que el planificador plantea. En la fase de evaluación se valoran los resultados de las dos fases anteriores con el fin de comprobar si satisfacen los objetivos sociales, económicos y operativos previstos. Puesto que más de un conjunto de políticas e inversiones en transporte pueden satisfacer en mayor o menor grado estos objetivos, lo normal es comprobar una serie de diferentes cursos de acción en el proceso de establecimiento de un plan.

Como se puede apreciar, la planificación analítica de un sistema de transporte involucra la creación de modelos (en la primera fase) que sirven como instrumentos para los procesos y fases siguientes. En este trabajo lo que se analiza son esos modelos – específicamente la recalibración de uno de ellos – y los conceptos y teorías necesarios para su formación, así como la influencia de sus resultados en la planificación de un sistema de transporte, en este caso de la ciudad de Lima.

2.2. MODELOS DE TRANSPORTE

“Un modelo en general es una representación de una parte del mundo real, y que se concentra en el análisis de ciertos elementos considerados importantes desde un particular punto de vista”. Esta amplia definición realizada por Ortúzar y Willlumsen [2] describe de manera general la naturaleza de un modelo, y lleva a explicar los dos tipos principales de modelos que existen: los físicos y los abstractos.

Los modelos físicos, tales como las maquetas arquitectónicas, túneles de viento o modelos de canales y represas en ingeniería hidráulica, son adecuados para tratar ciertos problemas físicos, pero están claramente limitados al aspecto del diseño.

Por otro lado, en los modelos abstractos la situación real se representa por símbolos, y no por mecanismos físicos, convirtiéndolos en más analíticos. De este modo son más útiles para el planificador, ya que trasladan su atención de los aspectos tridimensionales del diseño a la representación de relaciones funcionales y a los procesos básicos de cambio en los sistemas analizados. Dentro de esta categoría se encuentran los modelos matemáticos y computacionales, y el modelo de transporte que se analiza en este trabajo se ajusta a estos últimos.

Un modelo de transporte, por lo tanto, representa un sistema de transporte y su comportamiento mediante ecuaciones matemáticas basadas en teorías acerca

de este sistema, permitiendo predecir el comportamiento de ciertas variables que se utilizan en la planificación.

Un modelo es real para un particular punto de vista, es decir su valor está limitado a un rango de problemas bajo condiciones específicas. Al ser una representación simplificada de la realidad es necesario establecer a priori ciertas condiciones y supuestos que deben cumplirse para validar el modelo. Con esto se quiere decir que una gran parte de las simplificaciones en un modelo son intencionales, porque no es necesario representar la realidad en todos sus detalles para tomar un curso de acción, además que tal minuciosidad llevaría a que el modelo sea complejo y costoso.

Existen al menos tres áreas de aplicación para los modelos en el terreno de la planificación de sistemas de transporte: toma de decisiones estratégicas respecto de políticas o proyectos (planes de mediano y largo plazo); mejoras en la operación de un sistema en el corto plazo (por ejemplo en la operación de semáforos); y en evaluaciones económicas de los usos de los recursos bajo distintas líneas de acción.

Muchas decisiones tales como grandes inversiones en elementos de infraestructura de transporte (un nuevo aeropuerto, una carretera) ó incrementos importantes en la calidad y frecuencia de los servicios de transporte, necesitan de las predicciones del comportamiento futuro del sistema donde se plantea tales cambios. Por ejemplo, cuando se propone un cambio importante y que implica grandes mejoras en los servicios de transporte de un sistema se necesita saber el comportamiento de éste en escenarios distintos tales como alta y baja demanda ú otros como de bajo y alto crecimiento económico. Para responder a estas preguntas con un alto grado de precisión es necesario la utilización de modelos de transporte. Muchas veces, son éstos la única forma de predecir la evolución de los sistemas en respuesta a cambios importantes.

En países como Inglaterra o Chile, los modelos son utilizados a nivel estratégico en la planificación de inversiones en infraestructura a nivel nacional, regional y local. Y a nivel operativo, por ejemplo, en la programación de semáforos, los modelos permiten determinar la programación más adecuada de una cierta red en un determinado momento, lo cual se utiliza en el control dinámico de redes semaforizadas.

Hoy en día existen al menos tres tipos de modelos utilizados por los planificadores e investigadores: los modelos tradicionales de cuatro etapas, los modelos comportamentales de demanda, y los modelos integrados de uso de suelo y transporte. Cada modelo tiene sus ventajas y desventajas, aunque en los últimos años se ha generado una tendencia para utilizar modelos que analicen integralmente el uso de suelo y el transporte. Sin embargo, hasta ahora, los más utilizados han sido los modelos clásicos de cuatro etapas, debido a la sencillez de su planteamiento y a su eficacia en la mayoría de los proyectos donde fue utilizado. Este tipo es el que se analizará en el presente trabajo.

El modelo de cuatro etapas, plantea que los usuarios de un sistema de transporte toman decisiones en relación por dónde viajar, cuántas veces viajar, qué modo de transporte utilizar y cuál ruta emplear para ello. Las cuatro etapas de este modelo se denominan: generación de viajes, distribución de viajes, partición modal y asignación de viajes. Cada una de las etapas es considerado como un submodelo y serán analizados en mayor detalle en un capítulo posterior.

2.3. ESTRUCTURA GENERAL DE UN MODELO DE TRANSPORTE

Los modelos clásicos han sufrido poca variación sustantiva con el tiempo. Básicamente, su estructura general es como la mostrada en el Gráfico 2.1, que es una representación esquemática de la primera fase de la planificación analítica expuesta anteriormente. A su vez ésta, está dentro de un proceso de

planificación aún mayor y detallado que puede enmarcarse en las tres fases antes mencionadas.

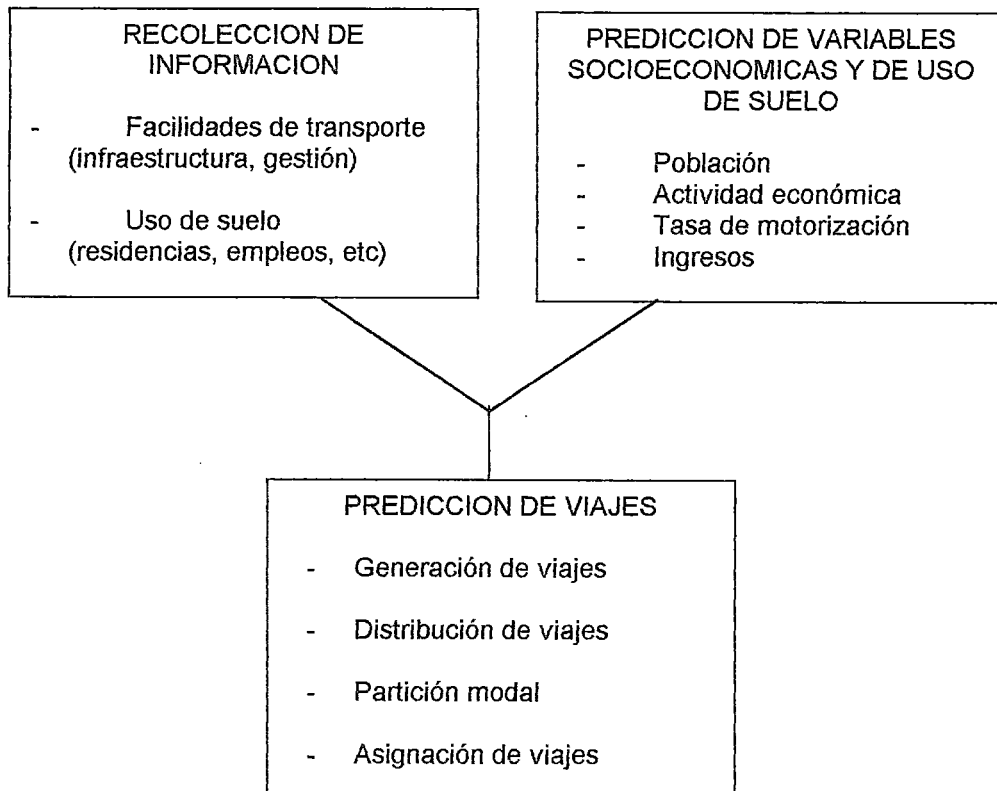


Gráfico 2.1. Estructura general del modelo de transporte
Fuente: Referencia [3]

Los pasos fundamentales de este proceso mayor (Gráfico 2.2) son los siguientes:

- Formulación del problema.* Como el sistema es complejo, debido a la interacción de personas y actividades, un modelo debe escoger el nivel de menor complejidad que le permita resolver el problema. Esto también depende del nivel de análisis: estratégico o local.
- Recolección de datos* acerca del estado actual del sistema de interés, a fin de apoyar el desarrollo de modelos analíticos.
- Construcción y calibración de un modelo analítico del sistema de interés.* Esta etapa implica especificar el modelo, estimar sus parámetros y examinar su capacidad predictiva con datos independientes.

- d. *Generación de soluciones para ser probadas.* Las alternativas deben ser diseñadas de modo que cumplan con los objetivos sin violar las restricciones.
- e. *Predicción de variables de planificación.* Estos son los datos de entrada del modelo o variables independientes. Para esto se puede recurrir a escenarios de planificación alternativos.

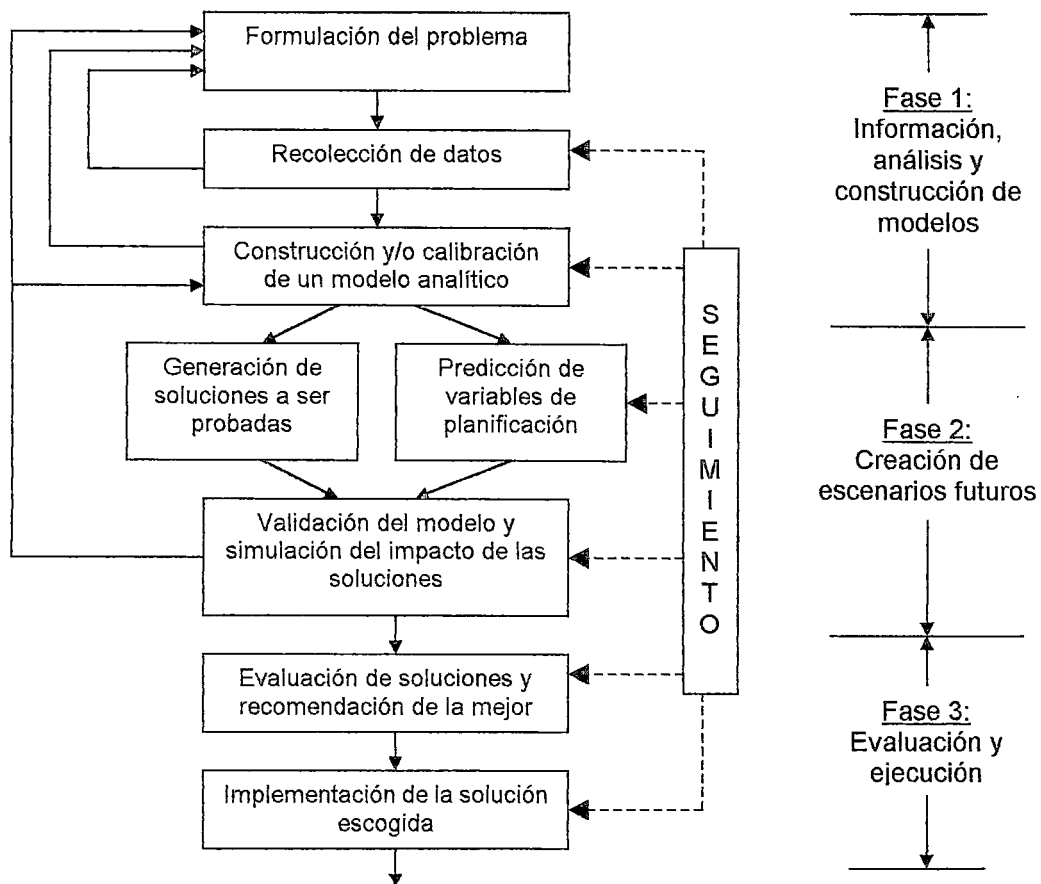


Gráfico 2.2 Proceso general de planificación
Fuente: Referencia [3]

- f. *Validación del modelo y simulación de impactos.* El comportamiento del modelo debe examinarse bajo diferentes escenarios a fin de evaluar su robustez y razonabilidad.
- g. *Evaluación de soluciones y recomendación de un plan o estrategia,* donde incluye una evaluación operacional, económica, financiera y social de las alternativas de acción a la luz de los indicadores producidos por el modelo.

- h. *Implementación de la solución escogida*, que implica ejecutar el plan desarrollado.

Este marco general puede ser utilizado tanto para formular un plan maestro, como para apoyar el proceso de negociación inherente a un estilo de decisión. Sin embargo, es necesario resaltar que este marco asume que el problema puede ser completamente especificado, y que las restricciones principales y el espacio donde se desarrolla pueden ser definidos claramente, además que la función objetivo puede ser identificada. Esto puede considerarse como no totalmente cierto, porque los sistemas reales de transporte no se comportan tan bien como se piensa. A veces es realmente complicado aislar un problema y sus restricciones y más aún las funciones objetivo. Cuando se piensa haber logrado planteamientos claros para solucionar el problema, surgen de manera espontánea éstos últimos por lugares donde menos se los espera. Todo esto se debe a que en los sistemas de transporte se lidia con variables sociales y económicas que fluctúan de manera inesperadas, especialmente en países en desarrollo como el nuestro.

Una forma de remediar estos inconvenientes es la revisión regular de los planes generales y una actualización periódica, o mejor aún constante, de estos planes mediante la inclusión de datos actualizados que permitan corregir o cambiar el curso de las acciones que se tomaron. Esto se puede lograr con el desarrollo de esquemas flexibles que admitan cambios en ellos. Por ejemplo el esquema del Gráfico 2.2 permite un flujo continuo de información para lograr actualizar datos de entrada y corregir ó volver a definir, si es necesario, nuevas rutas de acción. Una parte importante en este esquema es la función de seguimiento.

Realizar una función de seguimiento quiere decir adoptar un conjunto de esquemas que permitan cumplir todas las tareas indicadas anteriormente. Esta función de seguimiento, por lo tanto, cumple un rol controlador y desarrolla dos funciones claves. En primer lugar, identifica variaciones en el comportamiento del sistema de transporte y de otras variables exógenas como la población o

crecimiento económico. En segundo lugar, revalida y/o mejora el comportamiento del modelo con las variaciones obtenidas anteriormente.

Por lo tanto la inclusión de esta función de seguimiento permite implementar un proceso de planificación continua. Este tipo de procesos no es común en países en desarrollo, donde el esquema convencional es efectuar un esfuerzo inicial de pocos años para realizar proyectos de transporte de gran escala, que luego va decayendo en una serie interminable de revisiones de planes que no llegan a concretarse, hasta que al final las propuestas iniciales quedan obsoletas y se olvida el proyecto o se archiva. Luego de varios años el proyecto se torna nuevamente interesante y el ciclo puede volver a repetirse, desperdiciándose los recursos utilizados previamente.

REFERENCIAS

1. LANE, R., POWELL, T. y PRESTWOOD, P., *Planificación analítica del transporte*; Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid, 1975.
2. ORTUZAR, J. de D. y WILLUMSEN, L.G., *Modelling Transport*, Jhon Wiley & Sons Ltd., London, 1996.
3. ORTUZAR, J. de D., *Modelos de Demanda de Transporte*, Alfaomega Grupo Editor, México C.V., 2000.
4. MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES, VIVIENDA Y COSNTRUCCION, *Manual de Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana*, Oficina de Planeamiento y Programación, Lima, 2000.
5. BUREAU OF TRANSPORTS ECONOMY, *Urban Transport Models: A Review*, Working Paper 39, Department of Transport and Regional Services, Canberra, Commonwealth of Australia, 1998.

EL MODELO DE TRANSPORTE URBANO

Los modelos clásicos de transporte a lo largo de las prácticas desarrolladas con los años han consolidado una estructura de cuatro etapas muy diferenciadas: Generación de viajes, Distribución de viajes, Partición Modal (conceptos relacionados con la demanda de transporte) y Asignación de viajes (concepto relacionado con la oferta, a través de las características físicas y operativas de una red de transporte). Estas etapas fueron adoptadas a fines de los años 60 y desde entonces no han sufrido variaciones sustanciales. A pesar de que hoy en día existen progresos muy avanzados en la concepción, realización, y ejecución de un modelo, esta estructura se sigue utilizando de manera directa o indirecta, o como guía de referencia para los modelos que se realizan. Es más, algunos autores han tratado de introducir mejoras o presentar nuevas propuestas en modelación, pero los resultados han sido diversos, lo que ha hecho que siempre se vuelva al método tradicional de modelación.

El proceso general de este tipo de modelo (Gráfico 3.1) es como sigue. El enfoque comienza por considerar una zonificación (en áreas denominadas *zonas de tránsito*, desarrolladas a partir del concepto de espacialidad del primer capítulo) y la creación de una red del sistema de transporte en el área

de estudio, así como la recolección de datos a utilizar en el modelo. Estos datos incluyen la población estratificada del año base, así como datos socioeconómicos como puestos de empleo y número de matrículas, niveles de ingreso.

Todos estos datos luego son utilizados para estimar el número total de viajes producidos y atraídos por cada una de las zonas de tránsito en el área de estudio (*generación de viajes*). El siguiente paso es conocer los destinos de cada uno de los viajes, es decir *distribuir* los viajes espacialmente. La siguiente etapa involucra la elección del tipo o modo de transporte donde se realizan los viajes (*partición modal*). Finalmente, se requiere *asignar* los viajes ya diferenciados por modo a sus correspondientes redes: normalmente red de transporte público ó red de transporte privado.

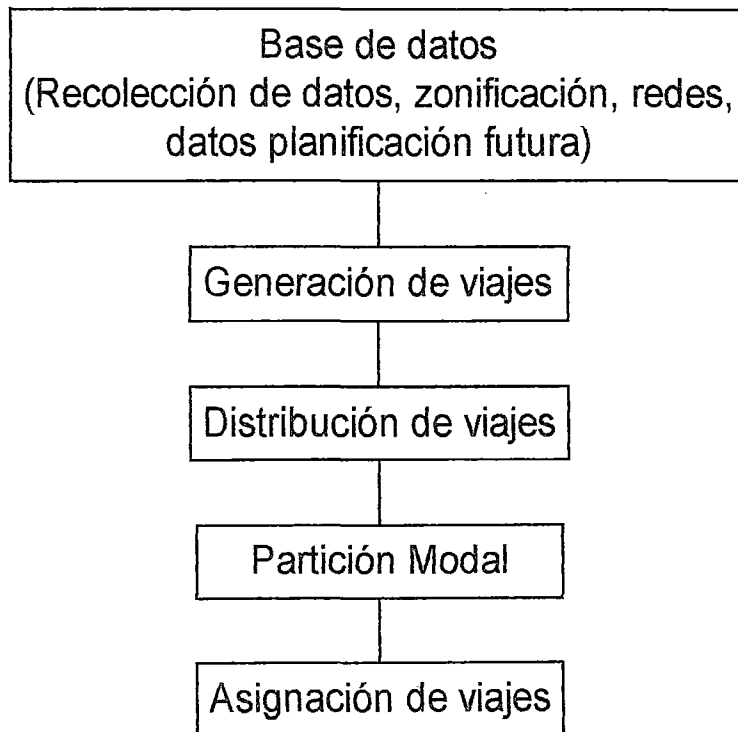


Gráfico 3.1. El clásico modelo de cuatro etapas

Fuente: Referencia [3]

3.1 RECOLECCION DE DATOS, ZONIFICACIÓN Y REDES DE TRANSPORTE

3.1.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

La obtención de datos es uno de los pasos más importantes en la generación de modelos de transporte y la confiabilidad de la información que se obtenga a partir de ellos, influenciará las fases futuras. Sin embargo, muchas veces se piensa que la confianza de los datos depende de la abundancia y el detalle que éstos presentan, pero no necesariamente ocurre de esa forma. Lo más importante es obtener datos de calidad.

Generalmente, en cualquier industria de servicios, cuando se requiere obtener información, se realiza encuestas a los usuarios; y el sector transporte no es la excepción. Las encuestas, y más específicamente, la información que se puede obtener de los usuarios, se puede dividir en dos tipos: acerca de lo que hayan hecho o estén haciendo en un sistema de transporte en particular; y acerca de lo que harían en el mismo. Cada uno de éstos se obtienen con un determinado tipo de encuesta.

Antes de realizar una encuesta se debe tener en claro cuales son los objetivos y lo que se desea obtener de ésta porque de esa forma se obtendrá los resultados requeridos. Adicionalmente, es importante definir el área de estudio que se desea analizar para la obtención de información. Por esta razón, es recomendable que la planificación del proceso de recolección de datos se realice de forma paralela con la zonificación y la creación de las redes. De esta manera, se conocerá qué zonas comprende el estudio para así, obtener información de cada una de ellas y dejar ninguna sin analizar, y también para no gastar el tiempo en otras no consideradas en el estudio.

Es necesario señalar que en ocasiones el interés no se centra en reunir datos de todo el sistema, sino en sólo partes de aquél. Este caso es especialmente

cierto en estudios de corto plazo, que generalmente se asocia a proyectos específicos o de carácter local.

Un aspecto importante en la recolección de datos es la metodología de ésta. Es reconocido que, tanto los procedimientos y los instrumentos de medición usados en este tipo de trabajos tienen una profunda y directa influencia en los resultados, ya que deficiencias en esta etapa tendrán repercusiones en etapas posteriores del modelo de transporte. Es recomendable, por lo tanto, que el procedimiento de recolección de datos sea considerado en el diseño de cualquier proyecto que requiera información empírica para su desarrollo.

Los típicos datos que se necesitan obtener son:

- Inventario de la infraestructura y servicios de transporte existentes.
- Inventario de uso de suelo, identificando zonas residenciales, de estudio, y comerciales e industriales.
- Conteos de flujo de vehículos y pasajeros
- Encuesta Origen – Destino
- Información socioeconómica, como ingreso familiar, propiedad de auto, estructura y tamaño familiar, etc.

La obtención de los datos anteriores permitirá contar con información de la demanda y oferta del sistema de transporte a analizar. Notar que los dos últimos pueden ser obtenidos mediante encuestas a los usuarios, con la característica de que sus respuestas reflejarán acciones realizadas antes o durante la entrevista. A esta metodología se le ha denominado de preferencias reveladas.

3.1.1.1 Encuestas de Preferencias Reveladas (EPR)

Se refiere a todas aquellas encuestas que obtienen datos acerca de las preferencias actuales u observadas en las elecciones de los usuarios. Es decir

se colectan datos de lo que las personas hacen ó, en el caso más general, de lo que han hecho el día anterior a la entrevista.

En el sector transporte, la más conocida de este tipo es la Encuesta de Origen y Destino (O-D). En estas encuestas, el objetivo es reconocer los patrones de comportamiento de viaje de los usuarios del sistema de transporte. La encuesta O-D es la principal fuente de información para la creación o la calibración de un modelo de transporte; por lo tanto se requiere un alto nivel técnico en la concepción, realización e interpretación de ésta debido a que implica tiempo y costo. Este tipo de encuesta merece una descripción más detallada que se realizará más adelante.

Otros tipos de encuestas con objetivos más específicos, que están enmarcadas en el concepto de las preferencias reveladas y que complementan la información de la O-D, son las encuestas en línea cordón y las encuestas en línea cortina.

Una *línea cordón* es una línea imaginaria que encierra y limita el área de estudio. Las encuestas que se realizan sobre esta línea tienen el objetivo de determinar el número de viajes que entran, salen o cruzan el área acordonada. Por otro lado, también pueden existir cordones internos que dividan el área siguiendo límites naturales (como un río) o artificiales (como una línea ferroviaria) que tengan pocos cruces a lo largo de ellas. A éstos se les denomina *línea cortinas*, y las encuestas realizadas sobre ellas se realizan para averiguar los viajes que cruzan dicha línea. En el Gráfico 3.2, una hipotética área de estudio está dividida por las líneas mencionadas.

Estas líneas notables son características de un proceso de zonificación que se verá posteriormente junto con otros detalle de las zonas.

Observar que los viajes que cruzan una línea cordón, ingresan o salen del área que se analiza, mientras que los viajes que cruzan una línea cortina son viajes internos.

3.1.1.2 Encuestas de Preferencias Declaradas (EPD)

Todo lo manifestado anteriormente partía del hecho de que son datos acerca de acciones hechas o que se estén haciendo. Pero, según Ortúzar y Willumsen [1], en términos de comportamiento de viaje, las preferencias reveladas presentan algunas limitaciones. En primer lugar, los datos que se obtienen acerca de las elecciones que realizan las personas, no proveen suficiente variabilidad para la construcción de buenos modelos para propósitos de evaluación y pronóstico.

En segundo lugar, el comportamiento observado puede estar dominado por algunos factores que puede ocultar la relativa importancia de otros. Entre estos últimos tenemos la seguridad, la limpieza, o los servicios de información, que si bien pueden ser considerados como alternativas de segundo plano, también pueden influir sobremanera en algunos casos, además de que implican costos y por lo tanto influyentes en el proyecto.

Finalmente, este tipo de encuesta presenta dificultades en la obtención de respuestas por parte de los usuarios para propuestas o políticas totalmente nuevas que se planteen.

Este tipo de inconvenientes, especialmente la última, se pueden resolver con otro tipo de encuestas que simulen posibles escenarios que son planteados por el modelador. Este tipo se les denomina de preferencias declaradas (PD).

La ventaja de las encuestas PD respecto a las PR, es que en las primeras a los entrevistados se les puede preguntar acerca de lo harían dentro de un rango de opciones que se le ofrezca. Pero, la desventaja que presenta es la veracidad que puede darse a las respuestas de los individuos para que realmente hagan lo que manifestaron hacer cuando la situación se presente. Es más, a principios de los años 70, cuando se empezó a utilizar esta metodología, se presentaron casos problemáticos al respecto.

Sin embargo, actualmente es muy solicitada en proyectos donde se necesita complementar la información obtenida de las encuestas O – D, gracias especialmente a los esfuerzos realizados a fines de los años 80 donde se mejoró de manera notable la metodología de recolección de información de este tipo de encuestas.

3.1.1.3 Encuestas de Origen y Destino (O – D)

La encuesta Origen – Destino es la más conocida de la metodología de preferencias reveladas, y tiene como objetivo la obtención de las características de movilidad de la demanda. Estas características representan una de las bases fundamentales para la formulación de los modelos, que luego predecirán los futuros comportamientos de viaje.

Las O-D representan un trabajo costoso y complejo, pero a pesar de eso son la mejor forma de obtener datos de campo. La dificultad se da especialmente por el tamaño de la zona a analizar y la cantidad de datos que se desea obtener. Durante mucho tiempo realizar este tipo de encuestas significaba un gasto enorme de tiempo y dinero, en gran parte debido al proceso de análisis porque no se contaba con herramientas para hacerlo. La llegada de las computadoras facilitó enormemente el trabajo, tal es así que, ahora la mayor cantidad de tiempo corresponde al trabajo de campo.

Hasta hace algunos años, las encuestas O-D eran blanco de cuestionamientos. En primer lugar, se criticaba que sólo medían un promedio y no el comportamiento de viaje de cada individuo; en segundo lugar, que sólo investigaba parte de los movimientos de las personas entrevistadas; y en tercer lugar, que algunas características de los viajes no se obtenían correctamente, especialmente los tiempos y distancias de viaje. Este último punto, ciertamente era uno de las falencias de las tradicionales encuestas O-D. Por ejemplo al preguntar al entrevistado por el tiempo que demoraba en realizar un viaje, había una tendencia a sobreestimar el tiempo. Esto ocurría especialmente cuando se preguntaba acerca de los viajes en transporte público. Al final se

encontró que la actitud que tenían los usuarios respecto al sistema de transporte que utilizaban influía en las respuestas que brindaban.

Esto llevó a que las encuestas tradicionales O-D sean mejoradas para que los datos de comportamiento de viaje no sean recolectados en términos generales o promedio sino que se utilicen tiempos fijos como puntos de referencia. Adicionalmente se concluyó que los resultados de varias actividades no sean analizados en forma aislada sino en conjunto con otros factores. Por ejemplo, en vez de preguntar por el tiempo de viaje preciso se le pregunta la hora que inicia y la hora que termina el viaje.

Días y Periodos de Encuesta

La fecha en que se realiza la encuesta O-D depende de los objetivos de ésta, aunque en la mayoría de los casos los datos que se desea obtener son de un día típico laborable y generalmente estos días son Martes, Miércoles y Jueves. Los Lunes y los Viernes se excluyen porque presentan comportamientos diferentes, por ejemplo los Lunes existen un menor número de viajes, mientras que la proximidad del fin de semana hace que los Viernes haya mayor número de viajes. Para obtener datos más precisos de los viajes realizados, se pregunta por aquellos realizados el día anterior, vale decir que las entrevistas se realizan los días Miércoles, Jueves, Viernes.

De la misma manera, también se sugiere que la estación en que se realiza la encuesta influye de alguna manera en el comportamiento de viaje de los usuarios. Se recomienda que el trabajo se realice en la época de primavera u otoño. En los meses de invierno el clima condiciona el deseo de viaje, aunque vale decir que esto ocurre especialmente en países donde esta temporada es intensa y fuerte. En los meses de verano, de igual forma, las condiciones ambientales hacen que se generen más viajes; y esto es cierto en el caso de la ciudad de Lima, más aún cuando esta temporada coincide con los meses de vacaciones que tienen los estudiantes.

Asimismo, no es recomendable realizar este tipo de encuesta en el mes de Diciembre y en nuestro caso en el mes de Julio. Ambos meses se caracterizan por un crecimiento en el ingreso de las personas, lo que implica un mayor número de viajes para satisfacer algunas necesidades, especialmente las de compras que no se ajusta al promedio anual de una persona común.

Preguntas de la encuesta

El diseño del cuestionario de preguntas de la encuesta O–D debe realizarse de tal forma que encuentre la menor resistencia por parte de los entrevistados. Por tal motivo es que las preguntas consideradas difíciles, como las relacionadas a los ingresos y la posesión de bienes, se dejan al final de la entrevista. En general las preguntas y la entrevista, según Ortúzar y Willumsen [1], deben satisfacer algunos términos:

- Las preguntas deben ser simples y directas
- El número de preguntas abiertas debe ser lo mínimo posible.
- La información que se obtenga de la encuesta, debe ser extraída de las actividades que originan los viajes.
- En las entrevistas en hogares se debe incluir como miembros del hogar a todos aquellos mayores a 5 años; y todas las personas mayores a 12 años deben ser entrevistadas personalmente, y las que se encuentran entre los 5 y los 12 años deben ser entrevistados acompañados de un adulto para que ayude y aclare las respuestas.

Normalmente las encuestas O – D a hogares tienen tres partes diferenciadas: características personales e identificación del entrevistado, datos de los viajes realizados, y características del hogar.

Las características personales e identificación incluyen preguntas diseñadas para clasificar a todos los miembros del hogar en los siguientes aspectos: relación sanguínea con el jefe de hogar, sexo, edad, nivel de educación, actividad que realiza y posesión de licencia de conducir.

En los datos de viajes se busca obtener y caracterizar todos aquellos realizados por cada uno de los miembros identificados en la sección anterior. Un viaje está definido normalmente como un movimiento de más de 300 metros desde un origen hacia un destino con un propósito determinado. Las principales características de viaje que se desea obtener son: origen y destino de viaje, propósito del mismo, tiempo de inicio y final, el tipo de vehículo usado, la ruta utilizada y las distancias de caminata.

Finalmente, en lo referente a las características del hogar, lo que se desea obtener es información socioeconómica acerca de la vivienda, identificación del número de vehículos del hogar, tipo de propiedad (alquilada, propia u otro tipo) y el ingreso familiar.

3.1.2 ZONIFICACION Y REDES DE TRANSPORTE

La zonificación del área de estudio, así como la creación de redes de transporte, es un punto importante que se debe resolver al comenzar el análisis de un modelo. Éstos tienen que conciliar – así como en otros temas de transporte – con dos aspectos conflictivos que siempre están presentes: precisión y costo. Si se desea obtener más precisión se debe crear la mayor cantidad de zonas posibles y una red altamente detallada; sin embargo eso trae consigo, como se verá más adelante, problemas en el análisis y en el costo.

3.1.2.1 Zonificación

La zonificación consiste en la división del área total de estudio en pequeñas áreas con el objeto de facilitar el análisis. A éstas se les denomina *zonas de tránsito*. La cantidad y tamaño de las zonas debe ser establecida por el analista.

La división del área de análisis debe realizarse de tal forma que en las zonas de tránsito se pueda reconocer patrones del comportamiento de las actividades

que en ellas se realizan. Estos patrones deben representar una característica común de las zonas para que se les pueda considerar *internamente homogéneas*. En el Gráfico 3.3 se muestra una área de una ciudad con sus respectivas zonas de tránsito (de color rojo.)

Sería ideal llegar a contar con un número de zonas que represente todas y las mínimas características del área de estudio llegando inclusive hasta un nivel específico como pueden ser los hogares, es decir que cada hogar sea considerado como una zona. Este nivel de detalle haría que la información que se obtenga de cada "zona" sirva para un análisis puntual, lográndose representaciones precisas del área analizada. Sin embargo, esta minuciosidad trae inestabilidad, porque los datos que se obtengan de las encuestas reflejarán el comportamiento de viaje de un hogar en particular y en un momento en particular; y como se puede suponer que todos los hogares son diferentes, un cambio en alguno de ellos traerá abajo todos los supuestos que se construyan en el modelo. Por eso, el aspecto clave no es contar con demasiadas zonas, pero tampoco con escasas, y es el modelador el que tomará, de acuerdo a su experiencia y criterios establecidos, la decisión final.

Otro aspecto que hay que resaltar es la necesidad que antes y durante la zonificación se tenga presente los generadores y atractores de viaje que existen al interior de las zonas, tales como fábricas, universidades, aeropuertos, terminales, mercados, etc.

Para que las zonas de tránsito sean de utilidad en el proceso de modelación y tengan una mejor relación con la red vial del área que se estudia, se define el concepto de *centroide*.

Los centroides (de color azul en el Gráfico 3.4) son puntos que representan a una zona de tránsito. Esto se hace para facilidad de identificación y análisis – por parte de los programas de computadoras especialmente – porque en ellos se concentrará todos los datos de la zona.



Gráfico 3.3 Zonas de tránsito en área urbana de una ciudad
Fuente: Gerencia de Desarrollo. AATE

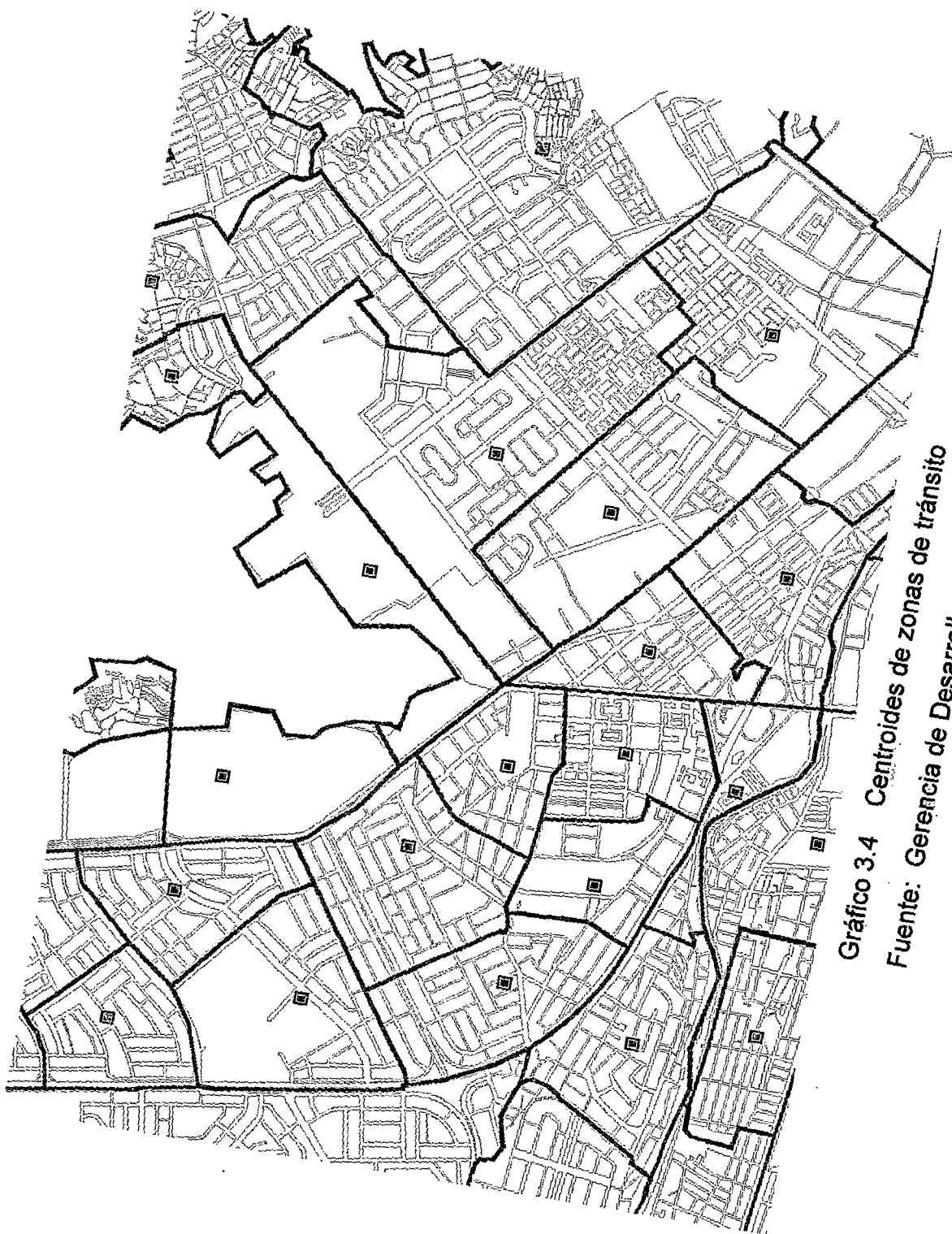


Gráfico 3.4 Centroides de zonas de tránsito
Fuente: Gerencia de Desarrollo. AATE

Criterios de zonificación

Las zonas de tránsito deben crearse de tal forma que representen de la mejor manera los atributos del espacio físico que se analiza. Para cumplir con esta premisa se debe seguir ciertos criterios:

- Las zonas deben ser lo más homogéneas posible en características como uso de suelo ó estratos socioeconómicos. Por ejemplo, respecto a uso de suelo, una zona debe representar a un área residencial ó a una comercial. No ambas a la vez.
- Número y tamaño son dos aspectos que van de la mano porque a menor tamaño se obtiene mayor número de zonas y de mejor representatividad, pero el inconveniente es que al haber demasiadas se complican los procesos. Por el otro lado, a mayor tamaño el área estudiada se representa de forma más agregada, pero se obtiene menor exactitud en las características zonales.
- Se debe respetar las divisiones políticas. Por ejemplo, una zona no puede pertenecer a dos distritos.
- Se debe respetar las divisiones geográficas y espaciales relevantes. Por ejemplo, una zona no puede cruzar un río ó una línea de ferrocarril.
- Las formas de las zonas deben permitir la ubicación de los centroides y los conectores centroides² de manera sencilla.

3.1.2.2 Redes de Transporte

La red considera el aspecto de la oferta de un sistema de transporte, vale decir lo que el sistema ofrece para satisfacer la necesidad de viajar de los usuarios

² Conector centroide es el término para designar el enlace entre un centroide y la red de transporte.

en el área de estudio. El tamaño de esta red depende, así como en la zonificación, del grado de detalle de análisis y representatividad que se desee ofrecer. Pero es necesario decir que la complejidad es proporcional al tamaño y densidad de la red.

Una red de transporte está constituida por las principales vías e intersecciones de la ciudad (Gráfico 3.5) en donde operan los principales tipos de transporte: público y privado. Por lo tanto, al definir la red de un sistema de transporte no es necesario representar todas las vías de la zona de estudio. Para un análisis estratégico – y del cual nos ocupamos en este trabajo – sólo se necesitan las principales vías con sus intersecciones.

A la intersección de dos vías de la red se le denomina *nodo* y al segmento de red entre dos nodos consecutivos se le denomina *arco* ó *enlace*. Esta simplificación en puntos y líneas se hace con el fin de facilitar la interpretación y codificación de la red por parte de los programas computacionales.

Es necesario aclarar ahora que un grupo especial de nodos representa a los centroides y que de la misma manera ocurre con los conectores centroide que son un grupo especial de arcos o enlaces. Sin embargo, cada arco de la red tiene atributos propios de la infraestructura física de las vías, de los flujos vehiculares y de pasajeros que circulan por él; y de igual manera los nodos.

Ahora, todas las características de zonificación y de red transporte se unen para que el análisis de modelación se haga sobre ellos. Estas características se pueden visualizar mediante múltiples programas, uno de los cuales permite obtener el Gráfico 3.6.

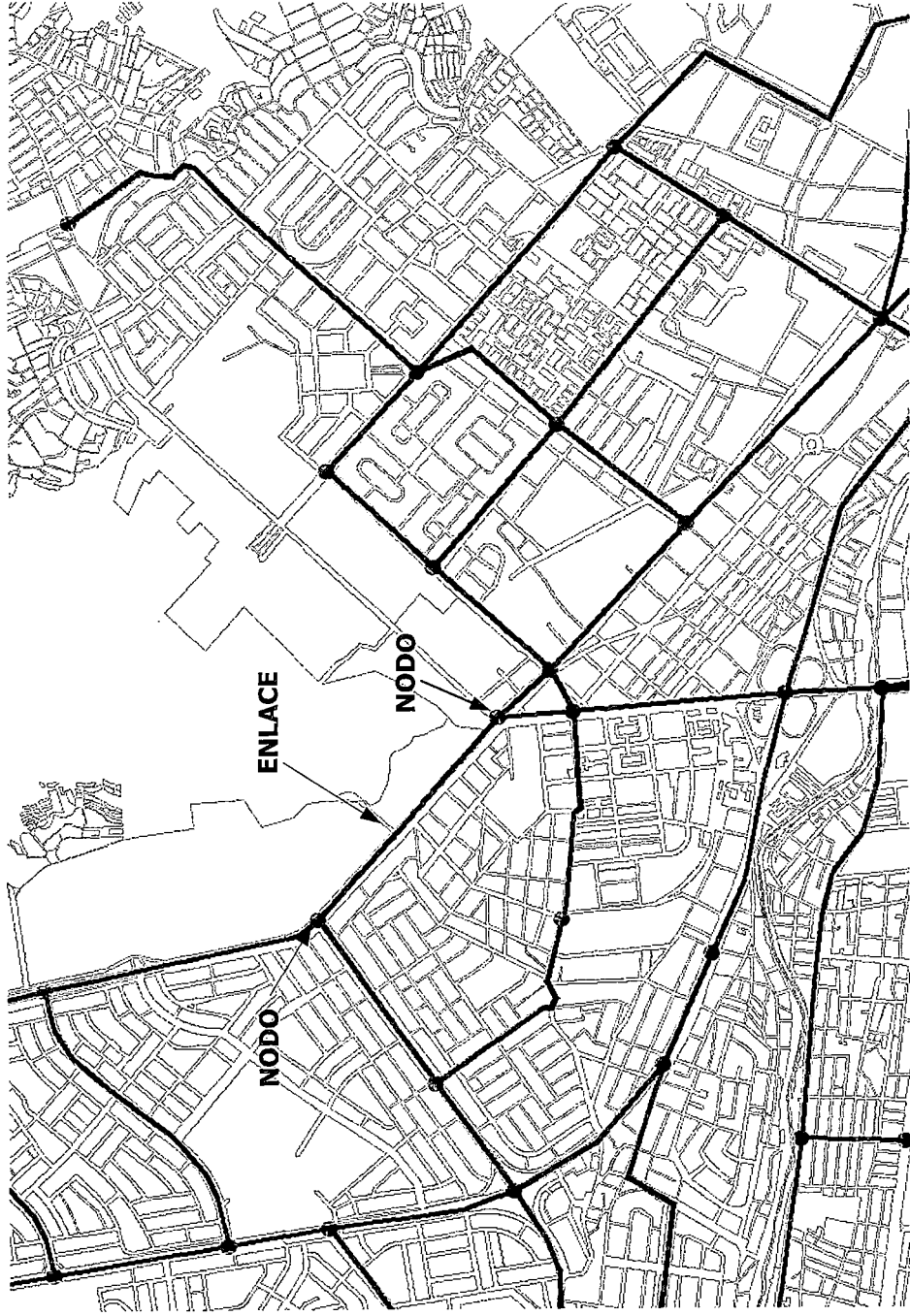


Gráfico 3.5. Red vial de un sistema de transporte (en azul.) Notar que no todos las vías son consideradas en la red.

Fuente: Gerencia de Desarrollo. AATE



Gráfico 3.6 Zonificación y red de transporte de una área urbana. En este gráfico se observa todos los elementos de una red de transporte. Las zonas de tránsito están en rojo, y las líneas en azul representan la red vial. Cada zona de tránsito tiene su propio centroide (pequeño cuadrado azul) el cual está unido a la red vial mediante los conectores centroide (líneas punteadas de verde)

Fuente: Gerencia de Desarrollo. AATE

En el gráfico se presenta la misma área anterior, sólo que sin el plano de calles para evitar confusiones. Se puede observar las zonas de tránsito en rojo y la red de transporte en azul. Cada zona tiene un centroide único el cual se conecta a la red de transporte mediante los conectores centroides de color verde. Estos últimos se les puede considerar como parte de la red de transporte, pero con la diferencia de que no existen físicamente en la realidad. Su única función es “enlazar” las características de cada zona concentrada en su centroide respectivo – con la red de transporte.

Ruta de transporte

Ruta de transporte es el itinerario de una unidad de transporte público que opera por las vías de una ciudad. En una red de transporte se le representa por una sucesión de arcos y nodos. El Gráfico 3.7 presenta una serie de rutas identificadas por diferentes colores y donde se puede apreciar que sólo por algunos arcos circulan más rutas.

La operación sobre una ruta de transporte es autorizada por un entidad municipal mediante el otorgamiento de una licencia de operación y en nuestro medio, la encargada es la Dirección Municipal de Transporte Urbano de la Municipalidad Metropolitana de Lima.

Generalmente la ruta de transporte está asociada con el transporte público porque éste tiene – por lo menos en teoría – un itinerario definido de operación. Lamentablemente en la ciudad de Lima no se cumple esta premisa porque existe una alta informalidad respecto a la operación de las unidades sobre las rutas. En casi todas las vías de la ciudad (a excepción tal vez del carril central de la Vía Expresa) circulan dos tipos de unidades: las que tienen autorización para hacerlo y las que no tienen (los “piratas”). Esta situación crea una mayor saturación en ciertas vías de la red afectando una de sus características más importantes y que tiene que ver mucho con el proceso de modelación: la capacidad.

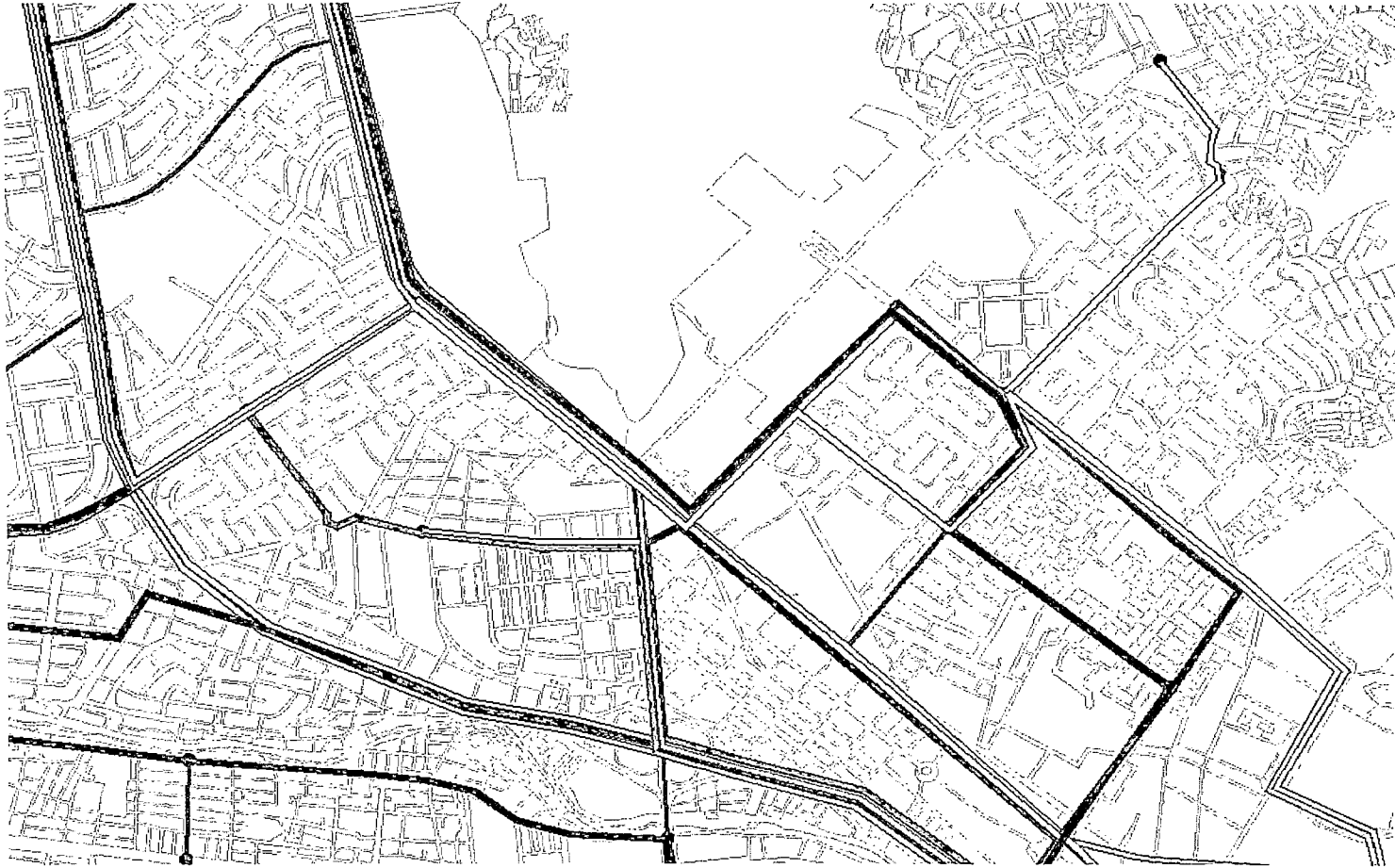


Gráfico 3.7 Rutas de transporte público en una red de un sistema de transporte.

Fuente: Gerencia de Desarrollo. AATE

Capacidad

La circulación en una vía es aceptable cuando la cantidad de vehículos que hay en ella no es demasiada. Esta es una conclusión lógica e intuitiva que cualquier persona que viaja en una ciudad puede hacer. Lo que la persona está analizando en realidad es que la corriente de tránsito circulará aceptablemente si es que el sistema tiene la suficiente capacidad (oferta) para alojar el flujo vehicular.

En términos más técnicos, la capacidad se define como la “tasa máxima de flujo de vehículos (o peatones) que pueden pasar por una infraestructura vial durante un intervalo de tiempo dado” [2]. Por lo tanto la capacidad de una vía, sea rural o urbana, tiene que ver bastante con sus características físicas o geométricas, así como de las características de los flujos vehiculares que circulan por ella bajo una variedad de condiciones físicas de operación.

Otro concepto ligado al de capacidad es el de nivel de servicio de la vía. Éste es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular y la percepción de los motoristas y pasajeros.

Los factores que afectan las condiciones de operación, y por lo tanto el nivel de servicio, pueden ser internos y externos. Los primeros están relacionados a la velocidad y volumen del flujo vehicular, la composición del tránsito, etc. Los segundos, tiene que ver más con aspectos físicos como anchura de la vía, pendiente, cruces a nivel, etc.

Por lo tanto, cuando se habla de capacidad de una vía se habla de aspectos cuantitativos (*flujos*) y cualitativos (*calidad de servicio*) que puede ofrecer un sistema de transporte (*oferta*) a los usuarios (*demanda*).

Todos los conceptos vertidos hasta ahora sobre las formas y métodos de recolectar datos y las características de la zonificación y la construcción de redes de transporte, no es sino un preámbulo para ingresar a los aspectos más

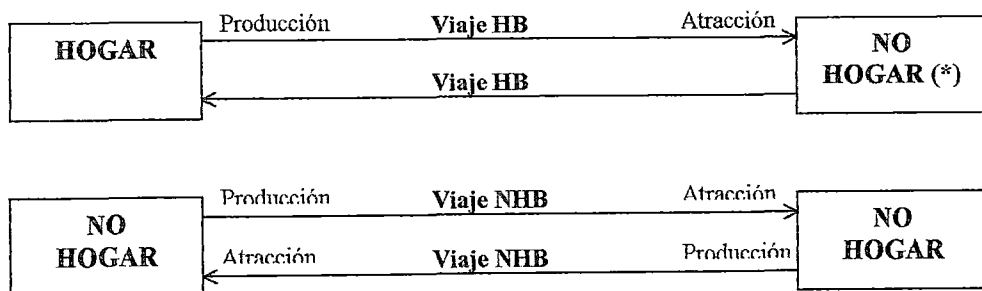
resaltantes en la elaboración de un modelo de transporte: las cuatro etapas que reproducen el proceso de realización de un viaje en una ciudad. Los resultados que se obtengan son analizados e influyen de manera directa sobre la planificación de un sistema de transporte.

3.2 GENERACION DE VIAJES

La generación de viajes es la primera de las cuatro etapas de un modelo clásico de transporte (Gráfico 3.1) y tiene como finalidad predecir el número total de viajes originados y atraídos por cada zona. El objetivo de esta etapa se puede resumir a responder la siguiente pregunta: ¿Cuántos viajes son originados por cada zona de tránsito?.

3.2.1 Definiciones previas

- **Viaje**
Es el movimiento en un sentido desde un punto de origen a un punto de destino.
- **Viajes basados en el hogar (HB)**, son aquellos que tienen un extremo en el hogar de la persona que realiza el viaje, independientemente de que éste sea el origen o el destino.
- **Viajes no basados en el hogar (NHB)**, son aquellos que no tienen un extremo en el hogar del viajero.



(*) No Hogar se refiere a un lugar de trabajo, estudios, recreación, etc.

- Producción de viaje, se define como el extremo hogar de un viaje HB, o el origen de un viaje NHB.
- Atracción de viaje, se define como el extremo no-hogar de un viaje HB o el destino de un viaje NHB.

3.2.2 Clasificación de viajes

Normalmente las actividades que una persona realiza diariamente están fuera del área donde reside por lo que tiene realizar viajes para poder cumplirlas. Por tal motivo es que los viajes son de diferente tipo, y pueden clasificarse:

Por propósito de viaje

- Viajes al centro de trabajo
- Viajes al centro de estudios
- Viajes a un centro comercial
- Viajes sociales y recreacionales
- Otros viajes

Por momento de viaje

- Viajes en periodo de horas punta
- Viajes en periodo de horas valle.

3.2.3 Variables involucrados en la generación de viajes

En los modelos de generación de viajes se está interesado no sólo en los viajes de las personas, sino también en los viajes de carga. Es por eso que generalmente se necesita cuatro grupos principales: producción y atracción de viajes personales; y producción y atracción de viajes de carga. Sin embargo en nuestro caso no existe información exacta acerca de los movimientos de carga que circulan por la ciudad de Lima, por lo que la información obtenida en los

aforos acerca de estos movimientos, se utilizarán solamente para simular la congestión que producen.

Las investigaciones y los avances en los modelos se han realizado en su mayor parte en torno a la estimación de la producción de viajes personales, y por consiguiente a las variables involucradas en la decisión de realizar un viaje. De éstas investigaciones se ha concluido que la producción de viajes depende de varias variables entre las que destacan:

- Ingresos
- Propiedad de auto
- Estructura del hogar
- Tamaño del hogar
- Valor del terreno
- Densidad residencial
- Accesibilidad.

También, se ha encontrado que las principales variables que se involucran en la atracción de viajes son:

- Puestos de empleo
- Número de matrículas

La gran mayoría de estos datos se obtienen de las encuestas que se realizan a los usuarios. Como se mencionó, las encuestas se realizan a miembros de hogares de un área en particular a quienes se les pregunta – entre otras cosas– el número de viajes que realizaron y el motivo de cada una de ellas. De esta manera se tendrá un número de viajes para cada uno de los diferentes propósitos (trabajo, estudio, etc.)

Al final, como se puede imaginar, se obtendrá una cantidad significativa de viajes clasificada por propósito e inclusive por momento de viaje (periodo punta o fuera de punta) para todo el área de estudio. Pero este resultado (por

ejemplo, x viajes por estudio y z viajes por trabajo, en periodo punta de la mañana y para toda el área – Gráfico 3.8) como primer resultado no sirven de mucho si no se desagrega por zona.

Un primer paso es relacionar estos datos de producción de viajes con alguna(s) de las variables involucradas (ingresos, propiedad de auto, etc) mediante análisis matemático y estadístico de los cuales se obtiene regresiones lineales o múltiples, de lo cual se expone más adelante en el ítem sobre métodos de predicción de viajes.

Ahora bien, cada una de los hogares entrevistados pertenece a alguna de las zonas de tránsito en que se ha dividido la ciudad y que fueron creadas en la etapa anterior. El proceso siguiente consiste en conocer la cantidad de viajes que le pertenecen a cada una de estas zonas. El resultado final es que cada una de ellas tendrá asignada un número total de viajes originados.

De similar forma se realiza con los viajes atraídos. Basándose en las características de cada zona que hacen atractivos para los usuarios, es que se consigue el número de viajes que se dirigen hacia ellas.

Como se nota, al desagregar la información, se ha logrado obtener viajes por motivo o propósito para cada zona, además que se ha logrado relacionarlos con las variables que los afectan. De esta manera, alguna modificación de estas variables implicará la variación automática del número de viajes.

En general, en la Generación de Viajes lo que se desea es estimar el número de viajes producidos o atraídos en función de alguna(s) de las características inherentes a cada uno de estas dos etapas.



Gráfico 3.8 Viajes generados en toda el área de estudio en Lima. Las áreas en rojo son las zonas de tránsito
Fuente: Gerencia de Desarrollo. AATE

La producción de viajes casi siempre ha obtenido mejores resultados porque depende en gran parte de factores relacionados con la población, que son, relativamente, más fáciles de conseguir. Éstos se obtienen generalmente de los censos nacionales que se realizan, por ejemplo en nuestro país, casi regularmente. Datos como tamaño del hogar, ingreso familiar o tasa de motorización son variables que pueden ser relacionados con estratos socioeconómicos y con el número de viajes.

Por otro lado, las variables involucradas en la atracción de viajes como el empleo y la matrícula, son más complicados de analizar (de manera especial la primera.) Poniendo como ejemplo a Lima, no existe información confiable y actualizada acerca de los puestos de empleo en la ciudad, ni mucho menos a nivel de distritos que es lo mínimo que se necesita para empezar el análisis.

Por tal motivo, es más confiable obtener el total de viajes producidos en una zona netamente residencial, que los viajes atraídos en una zona comercial. En la primera, sin temor a equivocarse, se puede decir que en cierto momento del día (en la hora punta de la mañana) un gran porcentaje es producción de viajes. Sin embargo, la segunda atrae no sólo viajes por motivo de trabajo, sino también por motivo de compras e inclusive viajes por motivo de recreación. Esta mayor cantidad de variables complican el análisis y hacen que los pronósticos que se realicen sean de poca confiabilidad.

3.2.4 Métodos de predicción de Producción de viajes

Existen varios métodos para predecir la producción de los viajes. En forma general, estos métodos relacionan los viajes con variables que los afecten para poder predecirlos en el futuro. Entre los más simples está el Método del factor de crecimiento, y entre los más completos están el Análisis por regresión múltiple y el Análisis por categorías.

El Método del factor de crecimiento es una técnica que permite predecir los viajes futuros en función de los viajes actuales y un factor de crecimiento. La ecuación básica es la siguiente:

$$V_i^f = F_i \cdot V_i^a$$

donde V_i^f son los viajes futuros de la zona i , V_i^a son los viajes actuales de la zona i , y F_i es el factor de crecimiento. El problema radica en el cálculo de este último, porque depende de variables como población, ingreso y tasa de motorización.

Este método es inexacto cuando se trata de estimar viajes internos de la zona estudiada, sin embargo se utiliza para predecir los futuros viajes externos que llegarán al área porque éstos son pocos y no hay mejor manera de calcularlos. A pesar de eso, este método brinda una buena idea de lo que se entiende por predicción de viajes en una zona.

El método de Análisis por regresión múltiple, se diferencia del anterior porque la predicción de los viajes futuros ya no depende de un solo factor. De allí su denominación, porque puede tener una *múltiple* dependencia.

En este tipo de análisis se hace necesario utilizar técnicas de ajuste, como mínimos cuadrados, que entreguen una función que permita interpolar resultados dentro del rango de datos con el menor error posible. Además en este tipo de relaciones se hace uso de técnicas de modelación matemática y de conceptos de intervalos de confianza y prueba de hipótesis, que escapan al objetivo de este trabajo. Hay que señalar sin embargo, que las dos principales formas de regresión de este tipo son a nivel zonal y a nivel hogares, y en ambos casos se obtienen modelos de la forma siguiente:

$$V_i^f = a + bX_1 + cX_2 + \dots$$

donde V_i^f son los viajes futuros, y X_1 y X_2 son variables tales como el número de viajes en el hogar por zona, personas por hogar por zona ó ingreso por hogar por zona en el caso del análisis zonal; ó viajes en el hogar, personas por hogar ó ingreso por hogar en el caso del análisis a nivel de hogares.

Hay que notar que todo este proceso depende en gran medida de los datos obtenidos de una encuesta Origen – Destino (O-D). De allí, la importancia de que ésta sea planificada y realizada de la mejor manera posible para que no altere los procesos futuros.

Existe una limitación en la recolección de los datos. Debido al alto costo que representa este tipo de encuestas, es muy difícil obtener una muestra representativa para cada una de las zonas de tránsito. Es decir, si se tomara muestras representativas de hogares de cada una de las zonas y se les encuestaran a cada una ellas, el número de total sería tan grande que la encuesta O-D se parecería más a un censo, porque se estaría entrevistando a casi toda el área de estudio. El resultado de esta limitación es que algunas zonas se quedan sin datos de viajes generados o atraídos.

La solución a este problema se obtiene de la estadística. Como las encuestas O-D se realiza a una muestra del universo, sus resultados se pueden expandir y proyectar al total de población mediante métodos estadísticos. Lo que se obtiene al final es que todas las zonas de tránsito del área de estudio presentan un número de viajes atraídos y originados.

3.2.5 Vectores origen y destino

La expansión de los valores obtenidos de la muestra es el paso final en esta etapa de generación de viajes. Pero, es usual que los resultados se coloquen en forma vectorial de forma que puedan ser utilizados fácilmente por los programas de computadora. Estos vectores son dos y son conocidos como *Vector origen o de producción de viajes* y *Vector destino o de atracción de viajes*. El primero, como su nombre lo dice, es el número de viajes que se

originan en cada una de las zonas de tránsito. De forma análoga para el otro vector. En el Gráfico 3.9 se puede observar a ambos.

Zonas	Origen (O_i)	Zonas	Destino (D_j)
Zona 1	O_1	Zona 1	D_1
Zona 2	O_2	Zona 2	D_2
⋮	⋮	⋮	⋮
Zona i	O_i	Zona j	D_j
⋮	⋮	⋮	⋮
Zona $n-1$	O_{n-1}	Zona $n-1$	D_{n-1}
Zona n	O_n	Zona n	D_n

Gráfico 3.9 Vectores Origen y destino de viajes
Fuente: Elaboración propia

Con la obtención de los vectores origen y destino se culmina la fase de generación de viajes. Lo que se logró con esta fase es obtener el número total de viajes que salen y llegan a una zona de tránsito, desagregado por motivo y por momento de viaje (Gráfico 3.10.)

Pero, surge algunas preguntas: de todos los viajes originados, ¿cómo saber el destino de cada uno de ellos?; y de todos los viajes que llegan, ¿cómo saber el lugar de procedencia de cada uno de ellos?.

Este análisis sólo se logra *distribuyendo* el valor agregado de los viajes a sus respectivos orígenes y destinos.

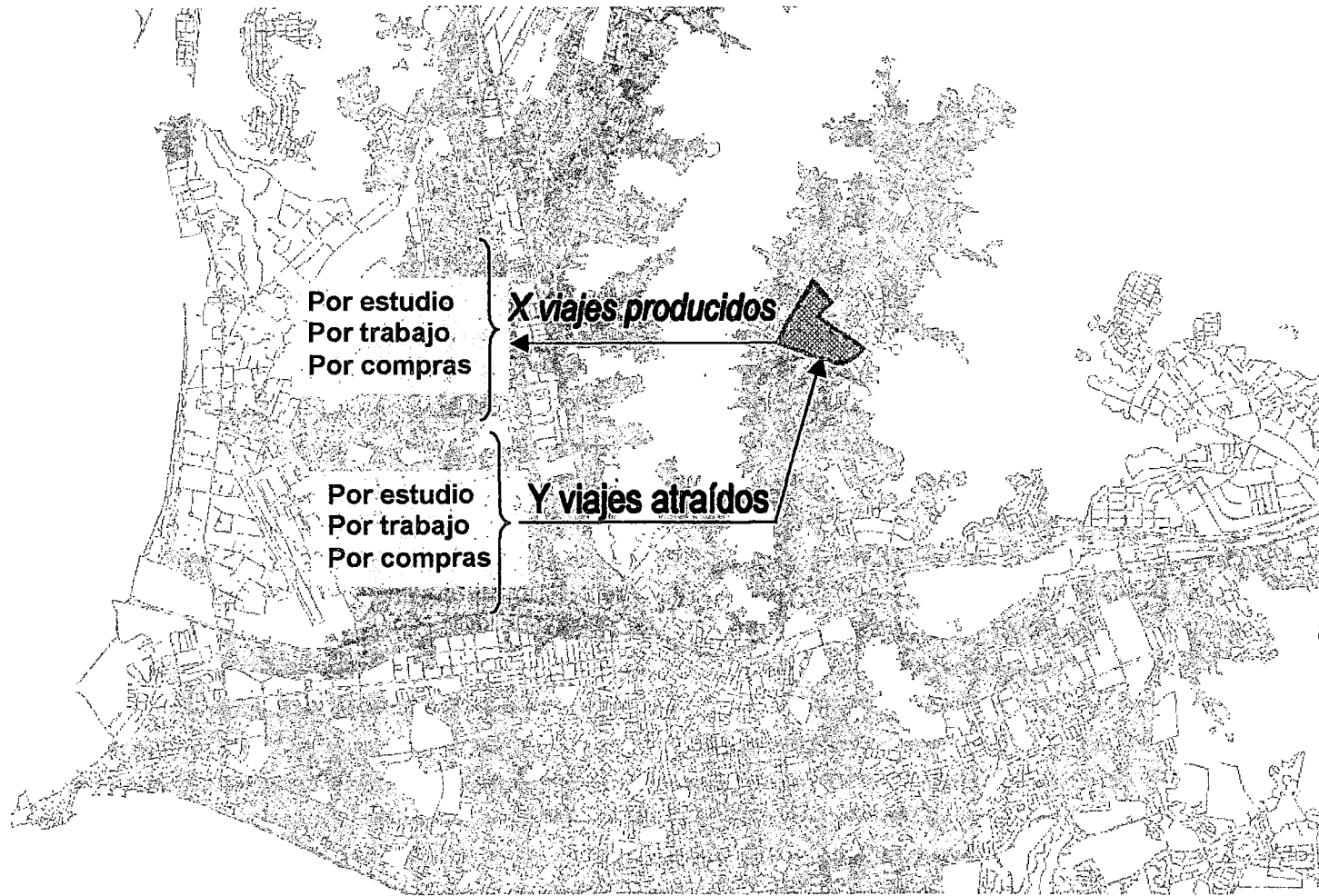


Gráfico 3.10 Viajes típicos generados en una zona de tránsito
Fuente: Gerencia de Desarrollo. AATE

3.3 DISTRIBUCION DE VIAJES

Se ha visto cómo los modelos de generación de viajes pueden ser usados para estimar el número total de viajes generados ó atraídos por una zona en particular. Este primer análisis nos brinda una idea general de los viajes en el área de estudio, pero no es suficiente para realizar juicios precisos. Para eso, lo que se necesita básicamente son tres cosas: primero, saber a qué zonas se dirigen los viajes generados y de qué zonas provienen los viajes atraídos; segundo, el tipo de transporte utilizado y por último, las rutas que toman para realizar aquellos viajes.

El primero de los tres puntos lo analizan los modelos de distribución de viajes. El principal objetivo de estos modelos es distribuir el total de viajes originados de cada zona en todos los posibles destinos y de esta forma generar un patrón de viajes entre zonas.

Es común representar este patrón mediante una matriz de viajes (Gráfico 3.11), el cual esencialmente es un arreglo de dos dimensiones de celdas, donde las filas y las columnas representan a las n zonas de estudio. Esta matriz es construida a partir de los vectores origen y destino obtenidas anteriormente.

Las matrices pueden ser desagregadas en función de otras características como por tipo de persona, por propósito de viaje, por hora de viaje o por alguna otra que el estudio o la investigación lo requiera. Esto significa que puede haber un número de matrices igual al número de características deseables a analizar.

		Zonas de atracción					Vector Origen
Zonas de Generación	Zona 1	Zona 2	Zona 3	... Zona j	... Zona n	$\sum_j T_{ij}$	
Zona 1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	... T_{1j}	... T_{1n}	O_1	
Zona 2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	... T_{2j}	... T_{2n}	O_2	
Zona 3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	... T_{3j}	... T_{3n}	O_3	
⋮							
Zona i	T_{i1}	T_{i2}	T_{i3}	... T_{ij}	... T_{in}	O_i	
⋮							
Zona n	T_{n1}	T_{n2}	T_{n3}	... T_{nj}	... T_{nn}	O_n	
Vector Destino	$\sum_i T_{ij}$	D_1	D_2	... D_j	... D_n	$\sum_{ij} T_{ij} = T$	

Gráfico 3.11 Forma general de una matriz de viajes. Notar los vectores origen y destino provenientes de la fase de generación.

Fuente: Referencia [1]

donde:

T_{ij} : es el número de viajes entre la zona origen i y la zona destino j .

O_i : es el número total de viajes que se originan en la zona i .

D_j : es el número total de viajes atraídos por la zona j .

n : número total de zonas de tránsito

3.3.1 Modelos de distribución

Los valores de cada celda de la matriz representan los viajes producidas entre una zona origen y una zona destino en particular y están en función de variables de producción y atracción que influyen en el deseo de movimiento de las personas. Estos valores son el producto de *distribuir* los valores agregados de viajes hallados en la etapa anterior mediante modelos de distribución, entre los cuales tenemos a los Métodos de Factor de crecimiento y al Método gravitacional.

3.3.1.1 Método de Factor de crecimiento

Estos métodos son normalmente usados para actualizar una matriz ya existente o para predicciones a corto plazo en zonas de poca variación en el tiempo. Generalmente presentan la siguiente forma:

$$V_{ij} = F \cdot v_{ij}$$

donde:

V_{ij} : número de viajes futuros entre el origen i y el destino j

v_{ij} : número de viajes actuales entre el origen i y el destino j

F : es el factor de crecimiento

Si se conoce que toda la zona analizada ha cambiado uniformemente, entonces una matriz previa puede multiplicarse por este factor y actualizarse. Este caso en particular se le conoce como *Método de factor de crecimiento uniforme*. Sin embargo, no siempre es acertado porque se está asumiendo que todas las variables que afectan los viajes han variado de manera similar.

Otros plantean un procedimiento iterativo, y donde el factor de crecimiento F no es constante sino que varía tanto para la producción como para la atracción. Los más conocidos son los métodos de Fratar y de Furness.

3.3.1.2 Modelo Gravitacional

Es el más popular y conocido, y su objetivo principal es calcular viajes en cada celda de la matriz. Su origen se basó en una analogía con la ley gravitacional de Newton:

$$V_{ab} = \frac{K \cdot P_a \cdot P_b}{d^2}$$

donde P_a es la población de la zona a , P_b es la población de la zona b y d es la distancia entre ambas. Una mejora consistió en la utilización de los viajes

producidos (O_i) y atraídos (D_j) de cada zona y en dejar al exponente de la distancia como un parámetro a obtener mediante calibración:

$$V_{ij} = \frac{K.O_i.D_j}{d^n}$$

Un último avance consistió en reconocer que si bien en ciudades interurbanas la distancia de separación entre ellas constituye una variable aceptable, tal no es el caso de las zonas urbanas donde se presenta la congestión y el tiempo utilizado en los viajes es considerado un factor determinante. Por lo tanto se utilizó una función que representara este factor así como otros “inconvenientes de viaje”, obteniéndose el denominado *Costo generalizado de viaje* (C_{ij}).

El costo generalizado de viaje es una función que representa, en unidades de tiempo o monetarias, el “costo” de viajar de un lugar a otro. Esta función – llamada también *función de impedancia* – es generalmente lineal e incluye todos los atributos de un viaje multiplicados por factores que reflejan su peso o importancia, y en forma general se le representa de esta manera:

$$C_{ij} = a_1.t^v_{ij} + a_2.t^c_{ij} + a_3.t^e_{ij} + a_4.t^t_{ij} + a_5.T_{ij} + a_6.T^e_{ij} + \delta$$

donde:

- t^v_{ij} = tiempo de viaje en el vehículo desde i hasta j
- t^c_{ij} = tiempo de caminata hacia o desde los paraderos
- t^e_{ij} = tiempo de espera en los paraderos
- t^t_{ij} = tiempo utilizado en transbordo³ si es que existiera
- T_{ij} = tarifa del viaje desde i hasta j
- T^e_{ij} = tarifa de terminal, generalmente de los lugares donde se estacionan o guardan las unidades, si es que existiera.

³ Transbordo significa cambiar de una unidad de transporte a otra para continuar el viaje

- δ = parámetro que representa todos los atributos que no son medibles como la seguridad, comodidad, conveniencia, etc.
- a_1, \dots, a_6 = pesos de cada atributo de la función y que sirven también para convertir a todos ellos en unidades comunes (tiempo por ejemplo)

Finalmente la expresión del modelo gravitacional quedaría de la siguiente manera:

$$V_{ij} = K.O_i.D_j.f(C_{ij})$$

el cual es el modelo que se utiliza actualmente. De acuerdo a esta última expresión un viaje entre la zona i y la zona j dependerá mayormente de la función de impedancia, ya que los viajes originados (O_i) y producidos (D_j) son conocidos. Esta función se halla mediante un proceso iterativo denominado *calibración*.

El proceso de calibración del modelo gravitacional consiste en hallar una función $f(C_{ij})$, de tal manera que los tiempos – y coeficientes – estimados por el modelo y utilizados en la función, reproduzcan lo mejor posible la Distribución de Tiempos de Viaje (DTV). Este histograma de distribución, como el que se muestra en el Gráfico 3.12, resulta de un estudio de tiempos que se realiza a una pequeña muestra de la población.

En la calibración, el modelo se utiliza de manera iterativa, para que todos los estimados por él, sean coherentes con las características de los viajes entre zonas, además que es una forma de acercarse a los datos reales obtenidos en campo. Por ejemplo, supongamos que de una zona en particular A se originan viajes a dos zonas diferentes (B y C), y que del trabajo de campo se obtuvo los tiempos de viaje entre estas zonas t_{AB} y t_{AC} (Estos últimos son la sumatoria de todos los tiempos que intervienen en un viaje: tiempo en vehículo, espera, caminata, etc.) Ahora, lo que hace el modelo es estimar tiempos entre

estas mismas zonas t'_{AB} y t'_{AC} y compararlos con los anteriores. Si el margen de error entre ellos es aceptable, los valores estimados por el modelo son considerados correctos, de lo contrario se vuelve a iterar. Este procedimiento puede llevar a que la función de impedancia de los viajes de A a B, sea diferente a los de A a C. Sin embargo ambas, al depender del tiempo de viaje, se ciñen a la realidad que muestra el histograma DTV.

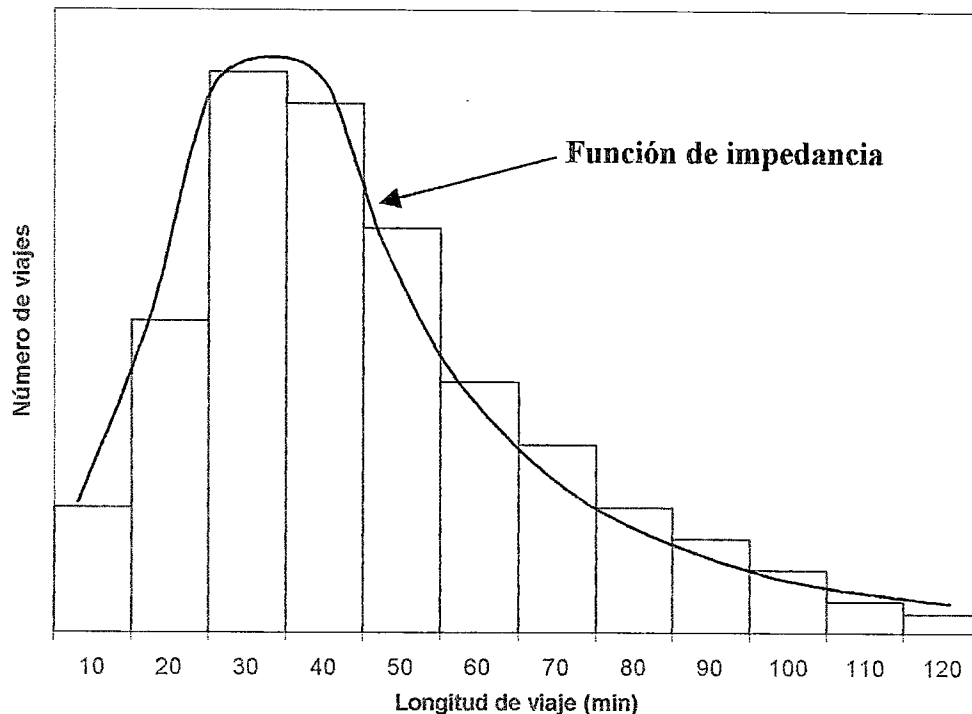


Gráfico 3.12 Típica Distribución de Tiempos de Viaje (DTV) en zonas urbanas.
Fuente: Elaboración propia

Paralelamente, a la comparación que se realiza con los tiempos de viaje hallados en campo, se realiza una confrontación de los flujos de tránsito estimados por el modelo y los hallados en campo. Recordar que en la fase de recolección de datos, se manifestó que es necesario realizar conteos de flujos vehiculares y de pasajeros.

Si continuamos con el ejemplo anterior, supongamos que en el camino de A a B, se realizó un conteo de vehículos y pasajeros obteniéndose los viajes realizados en transporte público y privado. Similar conteo se realiza en el camino de A a C. Lo que el modelo hace, de forma paralela al proceso anterior, es estimar los viajes que se realizan entre estos puntos y compararlos con los

obtenidos en los conteos realizados en la realidad. Estos dos valores deben ser similares bajo el mismo criterio anterior.

Con estos dos procedimientos descritos, la matriz es distribuida y calibrada de manera simultánea y se logra que los volúmenes y tiempos de viaje entre dos zonas diferentes reflejen lo que ocurre en la realidad.

Vale analizar ahora la gráfica de la Distribución de Tiempos de Viaje (DTV). Notar que esta gráfica depende de los volúmenes y tiempos de viaje, que son las variables de calibración. Si los tiempos son pequeños, existen pocos viajes. A este tipo se le denomina *viajes cortos* y representan a los que se realizan a una distancia pequeña. Sin embargo, a medida que aumentan los tiempos, también se incrementan los volúmenes. Este crecimiento refleja el comportamiento de la mayoría de los usuarios, es decir, la mayoría viaja distancias medias para realizar sus actividades diarias. Pero, si aumenta la duración del viaje, pocos se sienten a gusto haciéndolo. Por ejemplo, es lógico que una persona que vive en San Juan de Lurigancho y trabaje en Villa El Salvador, sienta que el transporte diario consume más tiempo de lo que desea.

Todo el proceso antes descrito nos muestra la importancia que tiene la función del costo generalizado en el proceso de distribución de viajes.

Para un mayor entendimiento de todo el proceso hasta ahora explicado (incluyendo la generación de viajes) presentamos el siguiente ejemplo didáctico.

Ejemplo 3.1

Supongamos que se desea estudiar el comportamiento de los viajes de un área determinada (Gráfico 3.13) Para tal motivo, luego de analizar el uso del suelo y siguiendo las pautas de un proceso de zonificación, se ha obtenido 8 zonas de tránsito (para facilidad del ejemplo.)

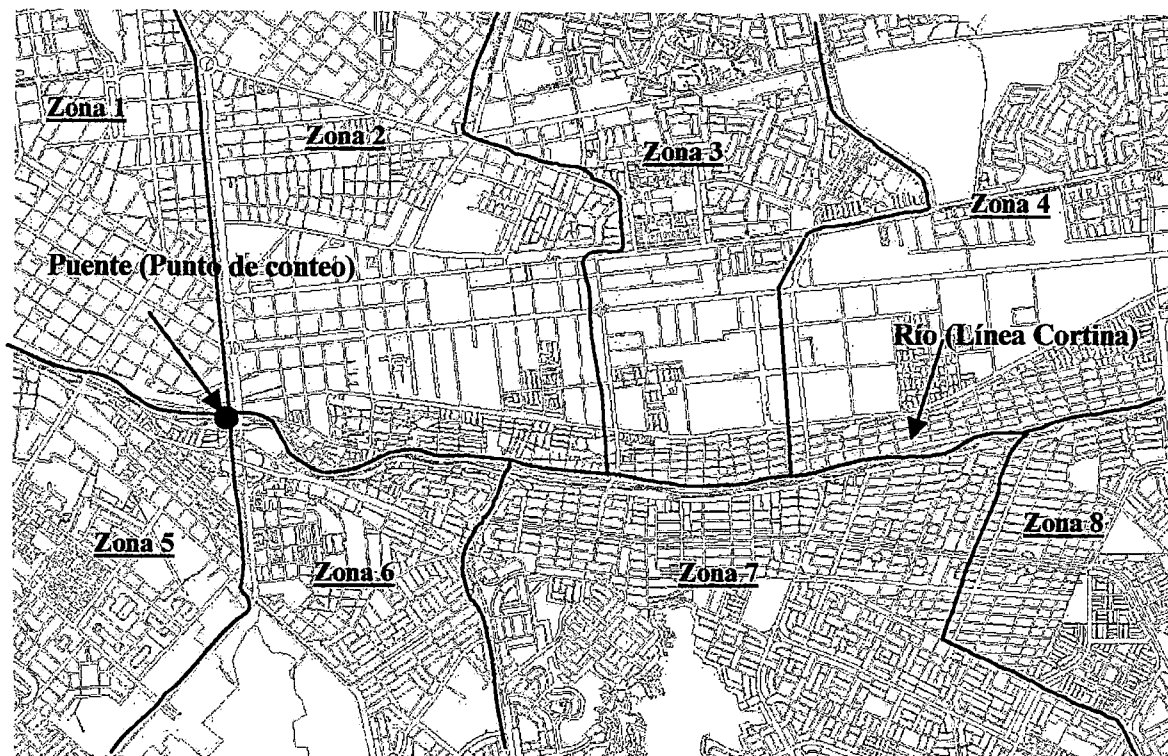


Gráfico 3.13 Zonas de tránsito

Fuente: Gerencia de Desarrollo. AATE

Paralelamente se estuvo recabando toda la información socioeconómica de los habitantes mediante una encuesta de Origen Destino (O-D) así como de flujos, vehiculares y de pasajeros, en puntos estratégicos, y se creó una línea cortina obteniéndose información de los flujos que la cruzan. El procedimiento a seguir es la siguiente:

1. Cálculo de los vectores Origen y Destino

Con la información obtenida de la encuesta O-D se generan los conocidos vectores Origen y Destino de viaje. Para el ejemplo, supongamos que estos vectores sean los siguientes:

Zonas	Origen (O_i) (viajes producidos)	Zonas	Destino (D_j) (viajes atraídos)
Zona 1	257	Zona 1	174
Zona 2	311	Zona 2	290
Zona 3	280	Zona 3	391
Zona 4	97	Zona 4	830
Zona 5	232	Zona 5	160
Zona 6	205	Zona 6	336
Zona 7	932	Zona 7	118
Zona 8	175	Zona 8	190
$\sum O_i$	2489	$\sum D_j$	2489

Se puede notar que la zona 7 es la que produce mayor cantidad de viajes, debido a las características de uso de suelo, mientras que la zona 4 es la de mayor atracción. Se puede especular que la primera zona es un área residencial y que la última ofrece mayor cantidad de empleos (fábricas o centros comerciales.)

Asimismo, el número de viajes producidos es igual al número de viajes atraídos. Esta es una de las principales condiciones para realizar la modelación.

2. Cálculo de los volúmenes (vehiculares y pasajeros) que cruzan la línea cortina y de la Distribución de Tiempos de Viaje para el transporte público.

El conteo sobre una línea cortina se realiza en un punto donde existe la seguridad que todos los viajes entre las zonas pasen por allí. En este caso, un puente que une ambos márgenes del río, asegura que todos los viajes crucen la línea cortina por ese punto.

La Distribución de Tiempos de Viaje, se obtiene de un estudio sobre una pequeña muestra de las zonas analizadas.

La información obtenida en ambos casos será comparada con los resultados brindados por el modelo.

3. Aplicación del modelo gravitacional para la distribución de los viajes, utilizando la función de impedancia.

Luego de la primera iteración se obtiene el siguiente resultado:

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	$\sum D_j$
Z1	28	28	44	71	9	22	21	18	241
Z2	4	12	37	149	13	55	19	21	310
Z3	17	43	30	115	23	14	16	9	267
Z4	19	8	19	12	17	8	10	6	99
Z5	44	53	29	12	7	23	22	45	235
Z6	12	66	35	35	11	27	6	22	204
Z7	21	65	148	367	78	145	16	68	908
Z8	24	13	37	32	9	32	5	8	160
$\sum O_i$	169	288	379	783	167	326	115	197	2424

Observamos que en la distribución final no se obtiene el número de viajes totales originales (2489) obtenidos anteriormente.

4. Calibración de la distribución comparando los volúmenes observados que cruzan la línea cortina con los obtenidos por el modelo, así como de los histogramas de la Distribución de Tiempos de Viaje.
5. Iteración de los pasos 3 y 4 hasta que los datos observados y modelados, tanto en volúmenes como en la distribución de tiempos, tengan un margen de error aceptable y dentro de lo permitido.

Finalmente, después de varias iteraciones se obtiene la siguiente matriz de viajes:

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	$\sum D_j$
Z1	36	28	44	75	9	22	25	18	257
Z2	4	12	37	145	13	60	19	21	311
Z3	17	43	30	127	24	12	18	9	280
Z4	15	10	19	13	15	9	9	7	97
Z5	44	55	29	12	5	21	23	43	232
Z6	12	64	35	25	11	27	6	25	205
Z7	22	65	154	401	74	141	13	62	932
Z8	24	13	43	32	9	44	5	5	175
$\sum O_i$	174	290	391	830	160	336	118	190	2489

Esta es la matriz distribuida final de viajes de las 8 zonas que analizamos y el resultado de la etapa de distribución. Cada celda representa los viajes entre las zonas. Por ejemplo, de los 280 viajes producidos por la zona 3, 127 de ellos se dirigieron a la zona 4. También se puede interpretar como que de los 830 viajes atraídos a la zona 4, 127 provienen de la zona 3. Al final, se tiene que obtener el total de viajes del área analizada, 2489 para el ejemplo.

Terminado el proceso de distribución, estamos en condición de proseguir con la siguiente fase del modelo de transporte. Sabemos ya el número de viajes que se generan por zona y el destino de cada una de ellas. Una pregunta lógica sería, saber en qué medio de transporte se trasladan las personas que realizan tales viajes. Esta interrogante se explicará en la siguiente fase.

3.4 PARTICION MODAL

Actualmente si se desea viajar desde la periferia al centro de la ciudad, en forma general, se tiene la opción de utilizar ómnibus, micro, combi (transporte público), auto propio o taxi (transporte privado). La persona elegirá alguna alternativa – ó *modo de transporte* en términos más técnicos – para llegar a su destino. Pero, ¿se podrá intuir de antemano la alternativa que elegirá? ó ¿bajo qué criterios la persona elige tal alternativa?. Estas preguntas son respondidas por los modelos de partición modal. .

El objetivo de los modelos de partición modal es simular el proceso de elección de un individuo frente a un grupo de alternativas. Este concepto es general, porque el marco teórico que está detrás de estos modelos es aplicable a varios campos de la vida diaria, dentro de los cuales está el transporte.

La elección de un modo de transporte es uno de los más importantes pasos en un modelo clásico de planeamiento. La decisión de elegir entre transporte público ó privado – el caso más agregado – afecta de manera directa al sistema entero, porque influye en la eficiencia de la circulación en las áreas urbanas, en la cantidad de espacio físico dedicado a las funciones de transporte y el rango de elecciones disponibles a los viajeros. Por lo tanto los modelos de elección modal deben ser sensibles a los diferentes factores y parámetros de viaje.

Siguiendo con la secuencia de los ítems anteriores, en la primera fase se explicó las variables que influyen en la generación de viajes y como se obtenía el número de viajes que producía y atraía una zona. En la segunda fase, esos viajes producidos y atraídos se distribuyeron y se asignaron a diferentes zonas destinos. Ahora el objetivo es conocer en qué modo de transporte se movilizan esos viajes.

3.4.1. Modelos agregados y desagregados

Los modelos de partición modal han evolucionado con el paso del tiempo, y se pueden clasificar en dos grandes grupos: agregados y desagregados. Los primeros, llamados también de primera generación, utilizaban datos de grupo ó zonales y se basaban en conceptos de generación y distribución, llegando inclusive a concebir modelos que analizaban a éstas dos junto con la partición modal. Actualmente, los más utilizados son los modelos desagregados destacando el ya histórico modelo de elección discreta. En lo que sigue analizaremos ambos grupos.

Al comenzar a desarrollar los modelos agregados, se pensaba que las características personales de los usuarios eran los factores más importantes en la elección de un modo de transporte. Por lo tanto, se trataba de crear modelos que se utilizaran después de la fase de generación de viaje. Esto se hacía con el objeto de mantener todas las características de los usuarios – que se obtenían mediante las encuestas – para utilizarlos en la elección del modo de transporte.

Esta forma de pensar estaba de acuerdo con las circunstancias que se vivían en los países desarrollados (Estados Unidos, por ejemplo) donde se percibía un fuerte incremento en la utilización de automóviles, y se pensaba que tal comportamiento se mantendría. Por lo tanto esos modelos iniciales pronosticaban tales incrementos de manera que los planes y las inversiones futuras satisfagan las demandas pronosticadas de transporte privado. La elección de este modo de transporte se consideraba en función de características como ingreso, densidad residencial y tenencia de automóvil. El transporte público, era considerado como una variable no preponderante y sólo se le incluía en el análisis cuando era necesario.

Paralelamente en Europa, los modelos que se desarrollaban acerca de elección modal se conceptualizaron – desde un principio – para que se aplicaran después de la distribución. Este análisis tiene la ventaja de incluir las

características de viaje y los posibles modos disponibles al realizarla. Sin embargo, la desventaja era que se hacía más difícil incluir características del viajero, toda vez que se había agregado al momento de realizar la distribución. En estos modelos europeos, la característica típica que se utilizaba para simular el proceso de elección era el tiempo de viaje (tiempo en vehículo).

Se observó que el comportamiento de viaje, se podía representar con unos simples gráficos tipo "S" (Gráfico 3.14.) Estos estaban en función de la proporción de viajes que escogían un modo y del costo generalizado de viaje. Por ejemplo, asumamos que existen sólo dos formas (modo 1 y modo 2) de ir desde una zona "i" a otra "j", y que se cuenta como dato con el costo de cada una de ellas C_{ij}^1 y C_{ij}^2 . Si el costo (en tiempo ó dinero) es igual para ambas, los viajes se pueden dividir por igual entre ambas opciones. Esto se puede interpretar así: *la proporción de viajes t_{ij}^1 en un modo es la mitad del total T_{ij}* , es decir la proporción es 0.5. Por otro lado, si el costo de una de ellas es muy excesivo, los viajeros elegirán la otra alternativa más conveniente hasta el extremo que ningún viaje se realice por el otro modo. Este comportamiento se puede interpretar: *la proporción de viajes t_{ij}^1 en un modo es igual al total T_{ij}* , es decir el cociente es 1.

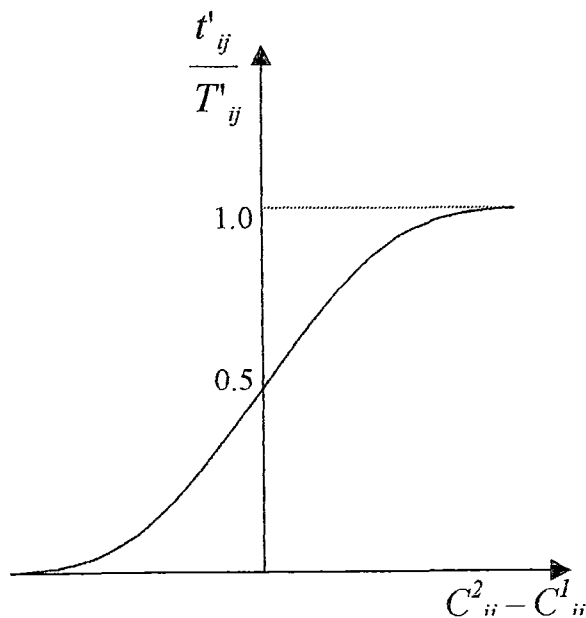


Gráfico 3.14
Curva de partición modal
Fuente: Referencia [5]

Ambos casos son los extremos de un sinnúmero de posibilidades y que se grafica en la curva anterior

Todos los métodos agregados secuenciales anteriores requerían que las etapas previas a la partición modal estuvieran bien definidas, porque de otra forma las dificultades y los errores a consecuencias de ellas, reducirían la eficiencia del modelo.

A principios de los años 1960 se desarrollaron modelos que analizaban la generación, distribución y partición modal de manera simultánea. Esta particularidad les daba la ventaja de eliminar algunos errores en las dos primeras fases de la modelación. Éstos fueron denominados Modelos de Demanda Directa y estaban muy ligados a conceptos de econometría. Sin embargo uno de sus falencias, era que se necesitaba gran cantidad de datos – recordar que es un modelo agregado – para cumplir con su objetivo.

Los avances en las teorías microeconómicas en la década de los años 70 repercutió en la modelación, especialmente, el desarrollo de la Teoría de Utilidad Aleatoria que dio origen a los modelos desagregados o de elección discreta. Éstos tenían una ventaja sobre los anteriores, pero no fueron utilizados sino hasta una década después.

3.4.2. Modelos de elección discreta (MED)

Los modelos desagregados – ó de segunda generación – basan sus análisis en las elecciones realizadas por individuos. Esta característica hace de éstos, mejores métodos para representar la realidad.

En general, un modelo de elección discreta postula:

“La probabilidad que un individuo escoja una opción, está en función de sus características socioeconómicas y de lo atractiva que resulte la alternativa en cuestión en comparación con las demás.” [3]

En este párrafo se hace referencia a dos conceptos fundamentales en los modelos de elección discreta: probabilidad y atracción. La primera tiene que ver en sí, con la idea principal de este tipo de modelos: el comportamiento individual, porque las teorías en que basa los MED, estudian y tratan de explicar este comportamiento. Por lo tanto, al querer explicar la *probabilidad* que un individuo escoja una opción, se utiliza los conceptos relacionados a la teoría de probabilidades.

Al ser los MED modelos probabilísticos y analizar conductas individuales, se necesita usar datos individuales. Esto es lo que lo diferencia de los modelos agregados, ya que éstos utilizan datos grupales o zonales. Esta característica además trae dos implicaciones:

- Los MED pueden ser más eficientes que los modelos agregados convencionales en el uso de información obtenida.

Esto quiere decir que éstos últimos obtienen abundante información de campo para luego ser promediados en función de atributos zonales. En cambio, las MED no agrupa los datos, sino que cada uno de ellos es utilizado como fuente de información. Esto puede llevar a un ahorro en el presupuesto destinado a la obtención de información de campo

- Como es información individual, todas las características inherentes a ella pueden ser utilizadas. Es evidente que al momento de agrupar datos para llegar a un promedio o uniformidad, se pierda algunas características personales de los entrevistados.

Se ha explicado que los modelos agregados estiman la probabilidad que una alternativa sea escogida, pero éstos no indican cuál de las opciones será la elegida por el usuario. Esta elección está relacionada con lo atractivo que la opción resulte, y ésta es la segunda idea a la que hacíamos referencia anteriormente.

En los análisis de conducta individual, para definir la atracción se utiliza el concepto de *utilidad*. Para un individuo, utilidad significa lo que busca maximizar, y las alternativas por si mismas no producen utilidad, sino que ésta es derivada de las características que tiene cada una de ellas. Por ejemplo, una función de utilidad observable puede representarse de esta manera:

$$Utilidad = \delta - a_1.t_v - a_2.t_c - a_3.(C/I) + a_4.N_a \dots\dots (I)$$

donde:

δ	=	variable
t_v	=	tiempo en vehículo
t_c	=	tiempo de caminata
C/I	=	relación costo – ingreso
N_a	=	número de autos

La primera variable refleja las características que no se pueden cuantificar fácilmente como la comodidad, conveniencia, limpieza, seguridad, etc. Las cuatro últimas variables representan características que pueden ser observadas y obtenidas.

Este modo de plantear la utilidad fue un aporte proveniente del área de la economía, específicamente de la microeconomía. Este avance fue decisivo en el desarrollo de una nueva forma de ver la partición modal.

3.4.3 Marco teórico de los Modelos de Elección Discreta

La base teórica para generar los modelos de elección discreta es la Teoría de Utilidad Aleatoria, propuesta por Domencich y McFadden⁴ en 1975, la cual postula:

⁴ Daniel McFadden recibió el Premio Nóbel de Economía del año 2000 por sus aportes a la Microeconomía. Sus estudios han contribuido de manera fundamental a la Economía de Transporte.

- Los individuos pertenecientes a una población homogénea P actúan racionalmente y poseen información completa y perfecta al realizar sus elecciones. Es decir, seleccionan la opción la cual maximice su utilidad personal neta, a pesar de estar sujeto a restricciones legales, sociales, físicas y/o presupuestarias (tanto en tiempo como dinero).
- Existe un grupo de alternativas disponibles $A = \{A_1, \dots, A_j, \dots, A_n\}$ y un grupo $X = \{X_1, \dots, X_j, \dots, X_n\}$ de atributos medibles (edad, estrato social, ingreso, etc.) y alternativas. Cada individuo p ($\in P$) está caracterizado por una serie de atributos medibles x ($\in X$) y cuenta con un grupo de alternativas a ($\in A$)
- Cada opción A_j está asociada a una utilidad U_j para una persona en particular. Cuando se modela, el investigador está en un punto de vista de observador, y no tiene toda la información completa de todos los elementos particulares que considera un individuo en su elección. Por lo tanto asume que la utilidad U_j para una persona p en particular está formada por:
 - Una parte racional (V_{jp}) que está en función de todos los atributos medibles x_j .
 - Una parte aleatoria (e_{jp}) la cual refleja la idiosincracia y el gusto de cada persona.

Por lo tanto, la utilidad de una opción del grupo de alternativas es:

$$U_j = V_{jp} + e_{jp}$$

Esta definición permite explicar dos aparentes incongruencias:

- Dos personas con las mismas características y con el mismo grupo de alternativas, pueden elegir diferentes opciones.

- Una persona puede elegir una opción que no es la mejor, desde el punto de vista de los atributos considerados por el modelador.

Notar que la forma de la última ecuación es la forma general de la ecuación (I) expuesta anteriormente como ejemplo.

La función de utilidad brinda como resultado un valor numérico, que tiene que ser comparado con los valores de las demás opciones del grupo de alternativas que se tiene. El valor que se obtiene debe ser transformado en valor de probabilidad de 0 a 1, y para el cual existen herramientas matemáticas. La más conocida de todas es el denominado modelo LOGIT, el cual postula que *“la probabilidad de seleccionar una alternativa es función de la utilidad de la alternativa en cuestión, dividida por la suma de las utilidades de todas las alternativas analizadas”*. Su forma funcional es sencilla:

$$P_i = \frac{e^{(U_i)}}{\sum_{i=1}^n e^{(U_i)}}$$

donde;

- P_i : Probabilidad de ser esogida
- i : alternativa considerada
- U_i : utilidades de las demás alternativas

3.4.4 Factores que influyen en la elección de un modo

Las características y factores que influyen en la función de utilidad y por ende en la elección del modo de viaje son:

Características del viajero

- Disponibilidad y/o tenencia de automóvil
- Estructura del hogar (joven, adulta, con hijos, sin hijos, etc.)
- Ingresos

- Densidad residencial

Características del viaje

- Propósito de viaje (trabajo, estudio, recreación, etc.)
- Momento del día en que se realiza el viaje
- Características de la infraestructura de transporte

Factores cuantitativos

- Tiempo relativo de viaje: en vehículo, caminata, espera en cada modo
- Costos (tarifas, gasolina, y otros costos directos)
- Disponibilidad y costo de parqueo

Factores cualitativos

- Comodidad y conveniencia
- Confiabilidad y regularidad
- Protección y seguridad

3.5 ASIGNACION

Hasta esta fase del modelo se ha analizado la demanda de transporte y esto ha incluido las fases de generación, distribución y partición modal. Al final de estos procesos se ha logrado obtener una matriz de demanda de viajes

La fase de asignación es la última del esquema de un modelo clásico de transporte, y es la que se asocia con el componente de oferta de transporte; por eso, es que se revisará algunas definiciones relacionadas a ésta.

Los métodos y conceptos de asignación que se verán fueron desarrollados desde que empezaron a implementarse los primeros modelos de transporte, es por eso que aún hoy se utilizan algunas definiciones que no han variado sustancialmente con los años. Sin embargo, también es cierto que través del tiempo la asignación de viajes para transporte privado se desarrolló más que su par en transporte público. Es por eso que los métodos dedicados a la primera son mayores y la investigación en tal sentido también ha seguido la misma tendencia.

El desarrollo de los temas se realizará siguiendo un esquema de menos a más. En primer lugar se presentará algunos conceptos importantes relacionados especialmente al transporte privado, pero que influirán también al modo público. A continuación, se explicará métodos de asignación utilizados en transporte privado, teniendo énfasis en el más utilizado – y el que nos interesa – hasta ahora: el método de Wardrop. Finalmente, se tratará en un ítem aparte los temas relacionados a transporte público. La razón para tratarlos por separado es porque presentan características diferentes que hacen necesario tal enfoque, aunque ambos modos compartan una misma red vial.

3.5.1. Conceptos previos

En economía, el intercambio de bienes y servicios es el resultado de la interrelación entre la demanda por ellos y la oferta de los mismos. El punto de equilibrio en esta relación define los flujos que circularán en el mercado y los precios a los cuales serán intercambiados.

Esta idea económica también se puede aplicar al transporte aunque no de manera tan estricta. En nuestro caso la demanda y la oferta está representada por los viajes y la red vial con sus atributos respectivamente. Ambos componentes fueron presentados en el primer capítulo de este trabajo, además que la demanda ya ha sido ampliamente analizada en las tres etapas previas, por lo que ahora recordaremos y ampliaremos conceptos relacionados al otro componente de un sistema de transporte.

La oferta de transporte está compuesta por una red vial que a su vez está representada por enlaces (con sus nodos relacionados) y los costos respectivos, y sobre esta red se movilizan los dos principales modos de transporte: privado y público. A este último se le puede añadir dos elementos característicos: frecuencia y capacidad; y a ambos les es común el concepto de costo generalizado de viaje.

Las relaciones Flujo – Velocidad y Flujo – Tiempo

Una relación importante utilizada en ingeniería de tráfico es aquella que relaciona la velocidad y el flujo en una vía: la *curva velocidad – flujo* como la mostrada en el Gráfico 3.15.

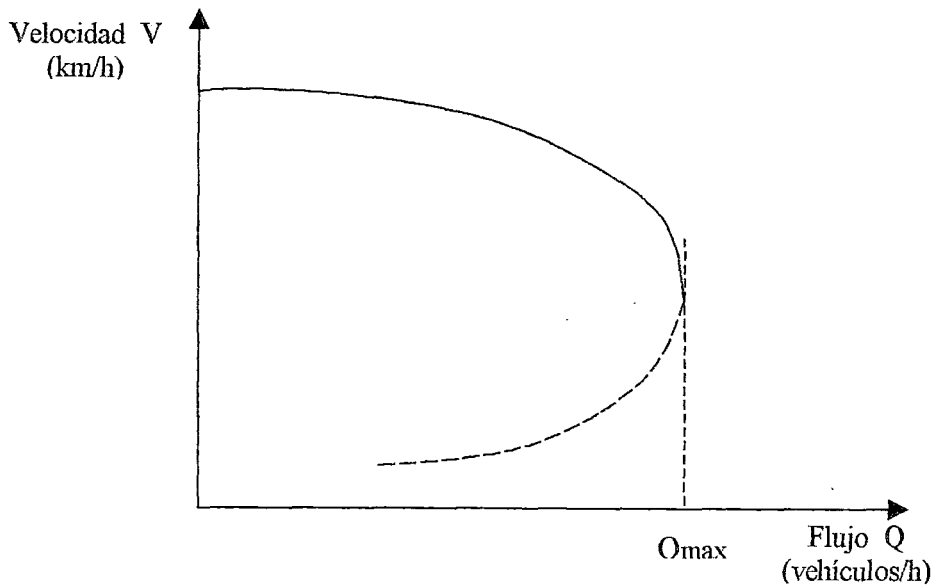


Gráfico 3.15 Relación flujo – velocidad⁵ en una vía.
Fuente: Referencia [1]

Sin embargo, en esta fase de asignación se utiliza también una función que relaciona los principales atributos de la red vial, es decir de la oferta. Estos atributos son la capacidad, flujo de vehículos y velocidad que relacionados de alguna forma brindan como resultado el tiempo o el costo de viaje.

⁵ La curva flujo – velocidad es muy conocida en la Ingeniería de Tráfico, ya que vincula dos variables importantes: el flujo de vehículos y la velocidad de éstos en la vía.

Esta curva puede explicarse de la manera siguiente: en una primera zona de la curva, a medida que el flujo aumenta se experimenta una ligera disminución de la velocidad. Esto en la práctica se puede entender que en una vía, a medida que los vehículos ingresan a ella, la velocidad disminuye, pero no drásticamente debido a que no existen muchos vehículos todavía.

A medida que el flujo de vehículos aumenta, la velocidad del conjunto disminuye de manera más rápida por la mayor concentración de unidades. A medida que la vía se acerca a su capacidad máxima (Q_{max}), que es el máximo flujo que puede soportar, la velocidad disminuye de forma brusca debido al mayor número de vehículos.

Todo lo anterior se explica con la parte superior de la curva (la línea sólida) y es la parte más analizada de la curva. La porción inferior de la curva (en líneas punteadas) es la parte que hasta ahora no se ha desarrollado por completo debido a lo variable del comportamiento. Esta región representa el comportamiento cuando se trata de ingresar mayores unidades a una vía con flujo máximo. Debido a lo variable de los resultados esta es una zona inestable

Una gráfica que relaciona el tiempo de viaje y el flujo en una vía de la red vial, es la mostrada en el Gráfico 3.16. conocida como la curva flujo – costo⁶.

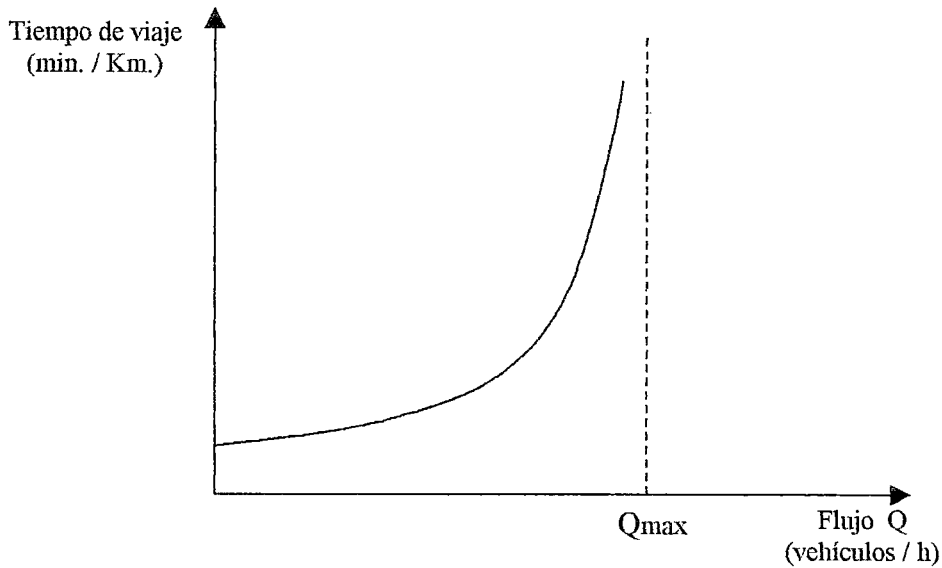


Gráfico 3.16 Relación flujo – costo en una vía.
Fuente: Referencia [1]

Esta relación ha sido bien estudiada y se ha concluido que el costo es función de dos variables: flujo y características de la vía. Es por esta última variable que comúnmente a esta relación se le incorpore el concepto de capacidad (que ya lo explicamos anteriormente). Así, de una forma sencilla, la función se podría representar de esta forma:

$$\text{Tiempo de viaje (costo de viaje)} = f(V, Q)$$

donde:

- V : flujo que circula por el enlace⁷
Q : capacidad el enlace

⁶ En análisis de transporte urbano, el costo de viaje tiene unidades de tiempo, es decir es función del tiempo de viaje.

⁷ Recordar que en el ítem dedicado a redes de transporte se explicó que las vías principales de una ciudad se representan por *arcos* o *enlaces*.

Muchos autores han propuesto el esquema general de estas funciones, especialmente de la curva flujo – costo, que tiene una gran importancia en la asignación de viajes. Esta función tiene las siguientes características:

- Realismo en los tiempos pronosticados, para que se ajusten a la realidad.
- La función, matemáticamente hablando, debe ser no – decreciente, es decir que a medida que el flujo aumenta se debe esperar que los tiempos de viaje tengan similar comportamiento. (Gráfico 3.16)
- La función no debe permitir la existencia de tiempos de viaje infinito – como sugiere el Gráfico 3.16 cuando los flujos se acercan al valor de la capacidad – sino que debe simular un valor máximo.

Asimismo, el esquema funcional también ha sido estudiado, y se han planteado varios modelos, pero el más conocido es aquel propuesto en 1964 por la Oficina de Caminos Públicos (Bureau of Public Roads) de los Estados Unidos, el cual tiene la siguiente forma:

$$t = t_o(1 + \alpha(V/Q)^\beta)$$

donde:

- t = tiempo de viaje (costo)
- t_o = tiempo de viaje en flujo libre
- α, β = parámetros de calibración

Esta curva flujo – costo es conocida también como la función BPR, pero su denominación más utilizada es la de *función volumen – demora*, y así la denominaremos de aquí en adelante.

3.5.2. METODOS DE ASIGNACIÓN

En la asignación clásica se utiliza principios y reglas para *cargar* una matriz fija de viajes sobre una red previamente diseñada produciéndose como resultado una serie de flujos en los enlaces.

Durante la etapa de asignación, se tiene en cuenta varios objetivos, entre los cuales tenemos:

- Obtener una buena red vial asignada
- Estimar los costos de viaje entre zonas para un nivel de demanda establecido
- Obtener flujos de vehículos y pasajeros razonables en los enlaces e identificar los enlaces congestionados.
- Estimar las rutas utilizadas entre las zonas
- Analizar los pares de origen-destino que utilizan una particular ruta o enlace

Los datos básicos de entrada para un modelo de asignación son:

1. Una matriz de viaje que represente la demanda estimada
2. Una red vial conformada por sus enlaces y nodos y con sus respectivos atributos, además de sus curvas flujo – velocidad.

3.5.2.1 Elección de una ruta

La premisa inicial en la asignación es la suposición que contamos con una viajero *racional*, es decir aquella persona que elige la ruta que le ofrece el menor costo individual percibido y anticipado.

Una persona al elegir una ruta está influenciada por diversos motivos tales como:

- Tiempo de viaje
- Distancia
- Costo monetario (gasolina, parqueo)
- Congestión y cola
- Condición de la vía
- Señalización

Si se incluyera todos estos factores en el desarrollo de una función de costo generalizado, sería una tarea complicada. En la práctica común, se considera dos variables en la elección de la ruta: tiempo y costo monetario, aunque el segundo sea proporcional al primero.

Estudios realizados a fines de la década del 70 por Outram y Thomson, en automóviles mostraron que pocos conductores eran eficientes en la elección de su ruta. Es decir, elegían rutas que a vista de un planificador no eran las más convenientes. Asimismo, notaron que la combinación de tiempo y distancia era la que brindaba la mejor explicación en la elección de una ruta. Ellos descubrieron que si solo se considera a éstos dos como los factores que intervienen en la elección de una ruta, se explican sólo el 60 u 80% de las rutas en los viajes. El porcentaje restante está relacionado con factores como diferencias en la percepción, falta de información de la ruta elegida ó simplemente son errores de los conductores.

El hecho que dos personas elijan dos diferentes rutas cuando viajan entre los dos mismos puntos se debe a dos tipos de razones:

- La congestión y sus efectos, hace que una ruta corta y atractiva aumente sus costos (tiempo y dinero) e iguale con otras rutas menos atractivas.
- Diferencias en la percepción individual al reconocer cual es la mejor ruta.

Estos dos aspectos importantes también son conocidos como *efecto de congestión*, el primero, y *efecto estocástico*, el segundo, y serán ampliamente detallados más adelante.

3.5.2.2 Procedimiento de un método de asignación

El procedimiento de asignación en líneas generales es único y es el que sigue a continuación:

- Identificar un grupo de rutas que pueden ser consideradas como atractivas para los usuarios. Estas rutas son diseñadas en estructuras denominadas “árboles de rutas”.
- Asignar la respectiva demanda de la matriz a estas rutas, las cuales generan los flujos en los enlaces.
- Buscar la convergencia, es decir que todos los flujos asignados a los enlaces se aproximen a una solución real.

3.5.2.3 Árbol de Rutas

La elección de una ruta es función de su costo generalizado de viaje, es por eso que en el análisis de los posibles caminos entre un origen y destino se debe hallar el “costo” de cada una de las posibles rutas. La creación de árboles de rutas ayudó a cumplir con ese objetivo desde el momento en que fueron introducidos. Al principio, cuando se utilizaba en redes pequeñas este procedimiento era fácil de desarrollar porque el trabajo se reducía a analizar unas cuantas rutas. Pero, cuando se empezó a usar en redes más grandes, correspondientes a ciudades mayores, el proceso de tornó muy complicado. Por este motivo es que se crearon metodologías que hicieran el trabajo. Uno de ellos es el Algoritmo de Moore.

Este algoritmo se utiliza para establecer los recorridos en los que se invierte menor tiempo de viaje. El siguiente ejemplo sencillo, ilustra el procedimiento de la ruta más corta utilizando la red del Gráfico 3.17.

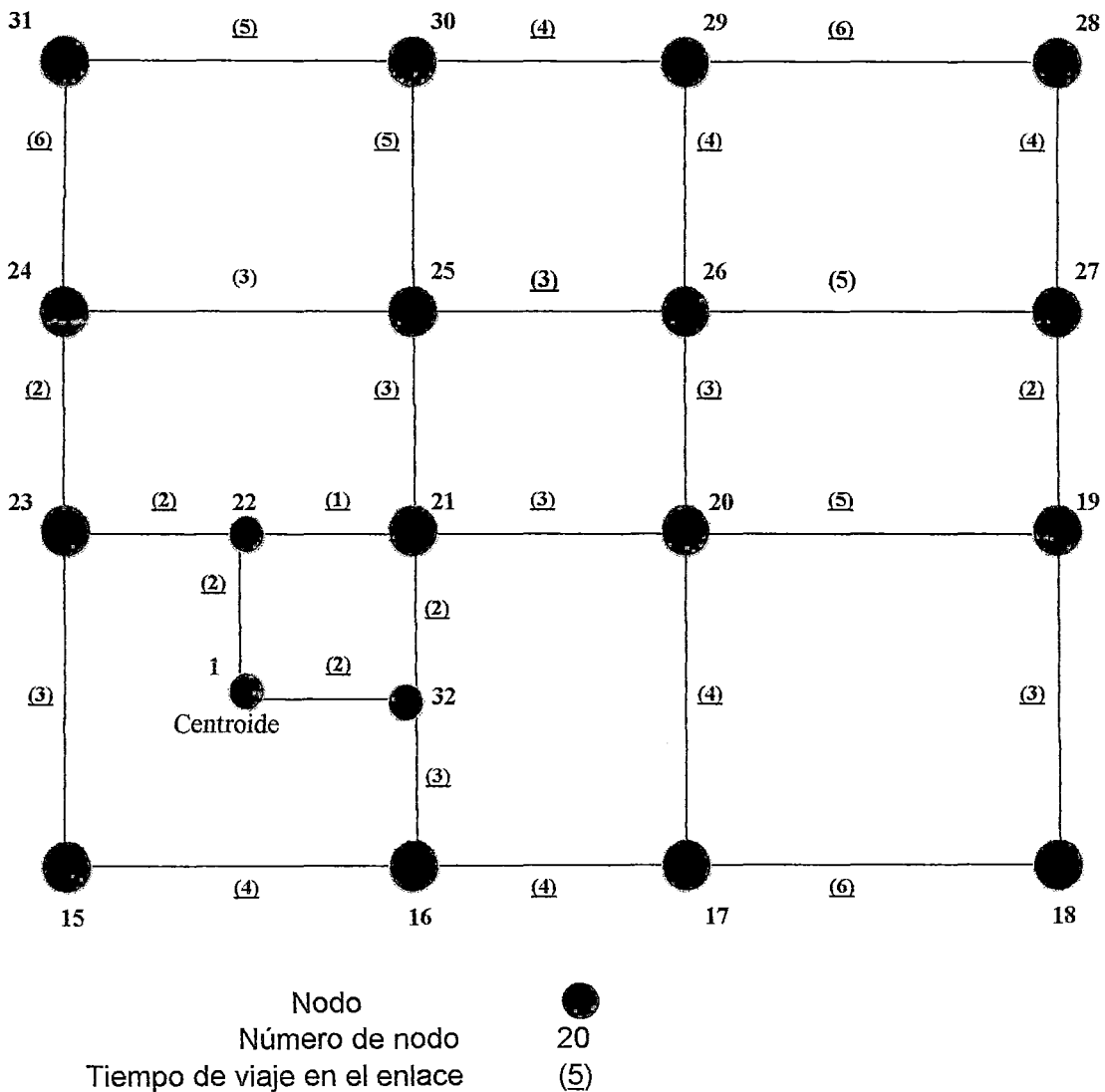


Gráfico 3.17 Cálculo de ruta mínima
 Fuente: Referencia [5]

Comenzando por el Centroide 1, se va a cada nodo y se anota para cada uno el tiempo de recorrido empleado, por ejemplo, $T_{1-22}=2$ y $T_{1-32}=2$. Se considera como nodo más próximo el que está a menor tiempo de recorrido del centroide. En el ejemplo los nodos 22 y 32 están a igual tiempo de recorrido, así que elegimos al primero de ellos.

Después se anota el tiempo de recorrido desde el centroide 1, a través del nodo 22, a todos los nodos conectados directamente con dicho nodo, por ejemplo $T_{1-22-21}=3$ y $T_{1-22-23}=4$. Considerando ahora al nodo 32, sería: $T_{1-32-21}=4$

y $T_{1-32-16}=5$. Se obtuvo dos rutas distintas para llegar al nodo 21, por lo que se elige la más corta, $1-22-1 = 3$.

Tomando ahora el nodo 21 se halla:

$$T_{1-22-21-20} = 6$$

$$T_{1-22-21-25} = 6$$

Del mismo modo para el nodo 23:

$$T_{1-22-23-15} = 7$$

$$T_{1-22-23-24} = 6$$

Y para el nodo 16:

$$T_{1-32-16-15} = 9$$

$$T_{1-32-16-17} = 9$$

De nuevo, por ejemplo, se ha calculado dos rutas para el nodo 15, eligiendo la más corta ($1 - 22 - 23 - 15 = 7$). Este proceso se repite hasta alcanzar a todos los nodos.

Si bien este procedimiento simple no es el que se aplica directamente en la asignación, sirve para mostrar la idea básica del proceso de elección de ruta explicado líneas atrás.

Como se adelantó, los esquemas para escoger una ruta – y por ende la asignación – se basan en dos conceptos: efectos de congestión y efectos estocásticos. Para ilustrar estos conceptos, se brinda el siguiente ejemplo:

Ejemplo 3.2

Consideremos una ciudad ideal con una ruta de baja capacidad (1000 vehículos/hora) que la cruza por el centro y otra de alta capacidad (3000

vehículos/hora) que la rodea. Esta última es más larga pero más rápida. Supongamos que durante el periodo punta de la mañana se acercan por "A" 3500 vehículos que desean llegar a "B", y todos quieren utilizar el camino más corto, es decir por el centro de la ciudad. Está claro que no va a ser posible que todos puedan utilizar este camino porque la vía en algún momento va llegar a su capacidad máxima y se va congestionar haciendo muy difícil la circulación por ella. Por lo tanto, muchos conductores elegirán el camino que rodea la ciudad para evitar la congestión. Es muy probable que con el tiempo los conductores que tengan este problema diario experimentarán con ambas rutas hasta encontrar "su ruta ideal", es decir un equilibrio en donde ninguno de ellos puede mejorar su costo de viaje (tiempo) cambiándose a la otra ruta. Este caso de elección de ruta se debe a efectos de congestión o *restricciones en la capacidad*.

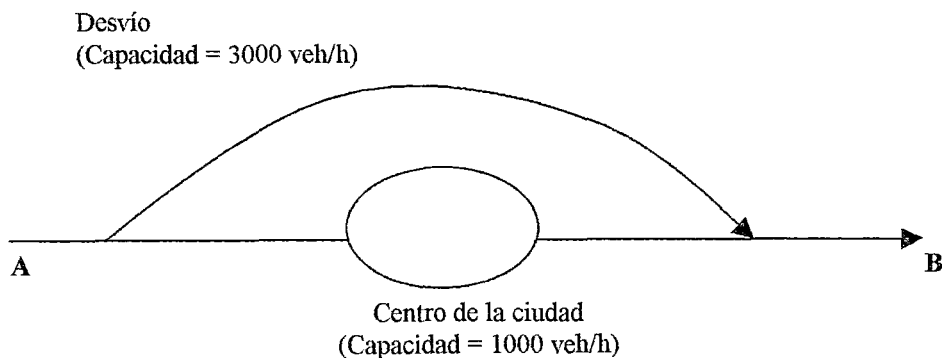


Gráfico 3.18 Dos rutas para llegar a un destino.
Fuente: Referencia [1]

Sin embargo, no todos los conductores piensan igual, porque algunos siempre van a preferir el desvío por sus condiciones de flujo así no hayan experimentado con la ruta corta; mientras que otros consideran otros atributos para elegir la ruta por el centro de la ciudad a pesar de la congestión y los mayores tiempos. Estas diferencias en las percepciones también es un factor que influye en la elección de una ruta, y se dice que son debido a *efectos estocásticos o variabilidad en los costos percibidos*.

Sobre la base de estos dos factores influyentes es que se generan una serie de métodos de asignación. Éstos se muestran en la siguiente tabla:

		¿Se considera efectos estocásticos?	
		No	Sí
¿Se considera efectos de congestión?	No	Todo ò Nada	Estocástico Puro
	Sí	Equilibrio de Wardrop	Equilibrio estocástico del usuario

Gráfico 3.19 Clasificación de los métodos de asignación
Fuente: Referencia [1]

3.5.2.4 Asignación Todo ó Nada

Este tipo de asignación no incluye efectos de congestión ni efectos estocásticos de variabilidad en los costos percibidos, por lo que es el más simple de los métodos.

Este método utiliza el menor tiempo de viaje para asignar los viajes entre un par origen – destino. Al considerar ausencia de congestión, los costos en los enlaces de la red son constantes y es posible que *todo* el flujo se asigne a un solo camino y *nada* a otros similares.

La suposición que se hace es que todos los usuarios perciben el costo mínimo de ese camino, por lo que todos desearán utilizarla; y como no existe el efecto de congestión, todos los vehículos no tendrán problemas al circular por ella.

Es claro que la suposición anterior no se ajusta a la realidad en ciudades grandes, por lo que solo sirve en situaciones con poca congestión (ciudades

menores) donde existen pocas alternativas de rutas, además que haya una marcada diferencia entre los costos de todas ellas.

3.5.2.5 Modelos Estocásticos

Los modelos estocásticos enfatizan la variabilidad en la percepción de los costos por parte de los conductores y la característica inherente de éstos de tratar de minimizar sus distancias, tiempos de viaje, etc. El modelo denominado Estocástico puro, es el mejor representante de su tipo, porque no considera elementos de congestión.

Existen dos algoritmos que se usan en la actualidad: el primero, se basa en los algoritmos de simulación de Montecarlo para representar la variabilidad en la percepción. El segundo, utiliza los conceptos de probabilidad para simular la misma situación. Este último distribuye los flujos utilizando expresiones tipo Logit⁸.

Sin embargo, utilizar solamente la variabilidad en la percepción de los costos, tampoco se ajusta a la realidad.

Existen dos métodos de asignación adicionales de acuerdo a la tabla anterior, donde se incluye efectos de congestión: el equilibrio de Wardrop y el Equilibrio estocástico del usuario.

El método de Wardrop será materia de una explicación más detallada en el ítem siguiente porque ha sido – y es aún – el método más conocido de asignación, además que es el que concierne a este trabajo porque será utilizado y comentado en capítulos posteriores.

El método de Equilibrio estocástico del usuario, considera tanto efectos de congestión y variabilidad en la percepción de costos, por lo tanto es el que más

⁸ Este tipo de expresiones es similar a los que se utilizan en la fase de Partición Modal con los modelos de elección discreta.

se aproxima a la realidad. Sin embargo, esta característica hace que sea más complicada para desarrollar relaciones que cumplan ambas condiciones. Se han realizado investigaciones y se ha demostrado que este método brinda buenos resultados pero luego de muchas iteraciones y cálculos, especialmente cuando se analiza áreas muy congestionadas. Adicionalmente, se comprobó que otros métodos – como el de Wardrop – arrojaba resultados muy cercanos en menor tiempo y con poco esfuerzo. Por eso se sugiere que este método – Equilibrio estocástico – se utilice en situaciones con congestión media o baja. En lo que compete a este trabajo, no será analizado.

3.5.3 ASIGNACION CON CONGESTION

Los dos primeros métodos anteriores no consideraban los efectos de la congestión en la red, por lo que eran simples, uno más que el otro. Pero la congestión es un factor importante al momento de realizar modelos de transporte a partir de ciudades de tamaño medio. Tomando como ejemplo a Lima, si no se considerara los efectos que produce la congestión (restricción de la capacidad) en las vías, el modelo que se construya a partir de esa suposición no serviría de nada.

Por tal motivo se utiliza modelos que contemplen esa característica, y uno de ellos y el más utilizado a través del tiempo ha sido el método de Wardrop.

Sin embargo, se ha estado dejando – a propósito – un aspecto también relevante en la fase de asignación: las diferencias que existen en la asignación de transporte privado y transporte público.

Hasta ahora, todo lo explicado (función volumen-demora, elección de ruta, etc.) está ligado a la asignación del transporte privado. Es más, la asignación con congestión se ha desarrollado, casi de forma exclusiva, para este modo de transporte.

Pero ¿es que acaso el transporte público no es afectado también por la congestión?. La realidad nos dice que sí, pero para una mejor representación de ésta, es preferible asignar por separado ambos modos de transporte. Por tal los aspectos que conciernen a ambos tipos de asignación serán analizados de forma separada.

3.5.3.1 Equilibrio de Wardrop

Este método es conveniente para asignar una matriz de demanda de viaje de transporte privado. Este método se basa en el principio enunciado por J. Wardrop en 1952:

“Bajo condiciones de equilibrio, el tráfico en redes con congestión se ordena de tal manera que ningún usuario puede reducir el costo de su viaje cambiándose hacia otra ruta”

Este enunciado es conocido como el primer principio de Wardrop y se basa en la suposición de que los usuarios siempre intentan minimizar sus costos al realizar sus viajes. Es decir, si pudieran hacerlo, cada usuario elegiría la ruta más corta para llegar a su destino, pero como existe el fenómeno de congestión vehicular, la ruta más corta deja de serlo cuando muchos usuarios tratan de usar la misma vía. Por lo tanto, los usuarios considerarán otras rutas hasta encontrar aquella que tenga el mínimo costo posible. Cuando todos los usuarios hayan encontrado esa ruta más conveniente y ninguno pueda minimizar más su costo de viaje, se dice que la red está en equilibrio.

El párrafo anterior es básicamente lo que hace el método de Wardrop, sólo que todo lo realiza de forma más analítica, planteando un problema de optimización matemática. Para resolver este tipo de problema se utilizan métodos matemáticos como el de Frank-Wolfe, que lo que hace es buscar rutas mínimas entre pares origen y destino – utilizando un concepto similar al de árbol de rutas.

Uno de los datos requeridos para realizar la asignación son las funciones de costo de cada arco de la red: las curvas volumen – demora (ó curva flujo – costo como el Gráfico 3.16). Ya se comentó que la más conocida es del tipo BPR, pero existe otro tipo que presenta algunas ventajas sobre las tradicionales, y son las funciones cónicas⁹.

Para comprender un poco mejor lo descrito, presentamos el siguiente ejemplo:

Ejemplo 3.3

Consideremos otra vez la ciudad del Ejemplo 3.2. Asumamos ahora que el efecto de restricción de capacidad de ambas vías se reemplaza con dos correspondientes funciones volumen – demora, que se muestran en el Gráfico 3.20.

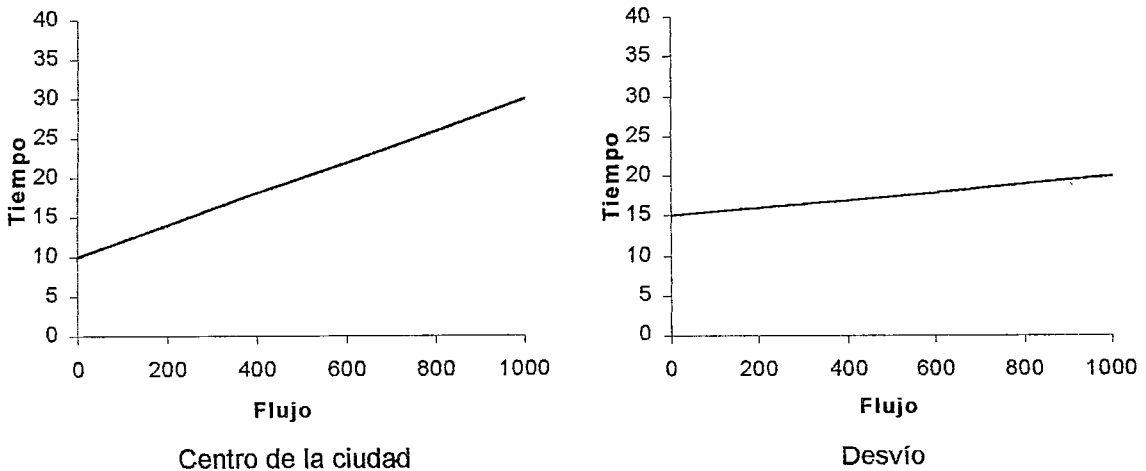


Gráfico 3.20 Curvas volumen – demora de las rutas del ejemplo 3.2
Fuente: Referencia [1]

Un rápido análisis nos dice que a medida que aumenta el flujo, se demora más por el centro de la ciudad. Las funciones anteriores son las siguientes:

$$C_c = 10 + 0.02(V_c)$$

⁹ Las funciones volumen – demora del tipo cónicas fueron desarrolladas por Heinz Speiss y publicadas en 1989.

$$C_d = 15 + 0.005(V_d)$$

donde:

C_c = costo de viaje por la vía del centro

C_d = costo de viaje por el desvío

V_c = flujo por la vía del centro

V_d = flujo por el desvío

Para satisfacer el primer principio de Wardrop los costos de viaje en ambos caminos deben ser iguales. Con un simple cálculo se puede igualar ambas ecuaciones, y teniendo en cuenta que $V_c + V_d = V_{total}$, se obtiene:

$$V_d = 0.8(V_{total}) - 200$$

Esta expresión tiene significado sólo cuando $V_{total} \geq 250$. Es decir, cuando el flujo total es 250 viajes (ó vehículos), el flujo por el desvío es nulo y todo se dirigen por el centro. A medida que aumenta el flujo total empieza a existir flujo por el desvío, obteniéndose diferentes costos en ambas rutas. El equilibrio se logra cuando $V_{total} = 2000$ y el costo en cada una de las rutas es 22 minutos, obteniéndose finalmente los flujos $V_d = 1400$ y $V_c = 600$ para cada una de ellas.

Este es el concepto básico para realizar la asignación de viajes en transporte privado. Usando la misma idea se puede analizar rutas más complejas, con más de las dos que sirvieron como ejemplo, entre otros pares origen – destino. La complejidad hará que la solución no sea tan simple como resolver algunas ecuaciones algebraicas, sino que se necesitarán otros métodos matemáticos y el uso de computadoras.

Finalmente, el equilibrio al que se llega se debe al comportamiento individual de los usuarios, por lo que a éste también se le conoce como *equilibrio del usuario*.

3.5.4 ASIGNACION DE TRANSPORTE PUBLICO

Como señalamos la asignación de transporte público es distinta y hay que añadir también que es más complicada.

En el transporte privado, los usuarios eligen su camino a través de la red vial y pueden elegir cualquier ruta que *perciban* que es la mejor. Esta es una representación cercana de la realidad, porque una persona que tiene un automóvil, teóricamente puede elegir el camino que desea para trasladarse de un origen a un destino.

En el transporte público, en cambio, los usuarios no eligen su camino a través de la red, sino a través de las distintas rutas de transporte disponibles. Es decir una persona que desea trasladarse tiene que escoger la ruta de transporte más cercana a su origen, y es ésta la que lo llevará por un itinerario fijo hasta su destino. Pero, antes de ingresar en más detalles definamos dos conceptos claves en esta parte:

Ruta de transporte, es una flota de vehículos que circula entre dos puntos de la red. El camino que utilizan está definido por enlaces y nodos, en algunos de los cuales existen paradas para permitir que suba o baje el pasajero. Para evitar confusiones con el concepto del párrafo siguiente, a partir de ahora a esta flota de vehículos se le denominará *línea de transporte*.

Ruta de usuario, es cualquier camino que un pasajero utiliza para trasladarse entre dos puntos de la red. El camino de esta ruta está definido – también – por nodos y enlaces. A cada porción de ruta entre dos nodos consecutivos se le denomina *sección de ruta de usuario* y cada una tiene asociada un grupo de líneas de transporte.

Adicionalmente, para esta fase de modelación existen diferencias en tres aspectos: oferta, pasajeros y costo.

La oferta, que se representa principalmente por la red vial y sus características, varía porque la red de transporte público necesita segmentos y nodos donde se especifiquen los paraderos de las líneas de transporte. Es común que en las ciudades se construya infraestructura exclusiva para el transporte público, por lo que ésta debe ser especificada en la red con todos sus atributos. Por ejemplo en nuestra ciudad existen vías segregadas y exclusivas para este modo de transporte, como la Av. Brasil o la Av. Alfonso Ugarte, en el caso de las primeras; y la Vía Expresa del Paseo de la República en el caso de las segundas.

El pasajero es el objeto de análisis cuando se trata de transporte público, a diferencia del privado donde lo que se analiza es el movimiento del vehículo. Al analizar el movimiento de estas personas se debe contemplar todos los aspectos inherentes a éstas como la caminata hacia o desde los paraderos, la espera en ellos y el intercambio de vehículos para llegar a destino, así como los tiempos que utilizan en cada una de estas actividades. Recordar que en transporte privado no existen los tres tiempos antes mencionados, por lo que su inclusión influirá de manera sustantiva al momento de viajar.

El costo de viajar en transporte público necesita un análisis más detallado que en el privado porque está ligado a los tiempos utilizados en las actividades que componen un viaje. Como existen más actividades que intervienen en el viaje, se gastará algún tiempo en ellas y eso repercute en el costo generalizado. En términos generales el tiempo de viaje necesita un mayor cuidado.

3.5.4.1 Elección de ruta y Asignación

Para realizar un buen análisis es usual que esta fase de asignación se divida en dos partes: elección de ruta y la asignación propiamente dicha. Es decir, primero se reconoce las posibles rutas¹⁰ que los usuarios utilizarán y luego se asigna la demanda sobre ellas.

¹⁰ Cuando se diga elección de ruta se referirá a elección de una *ruta de usuario*

En la elección de ruta, existe una característica exclusiva del transporte público que afecta la oferta y que es conocida como el Problema de las Líneas Comunes.

Este es quizás el más difícil y complicado aspecto de todo el proceso de asignación de transporte público.

El denominado problema de las Líneas Comunes se presenta cuando un pasajero, ubicado en una sección de *su* ruta de usuario, tiene para escoger entre varias líneas de transporte similares o *comunes* para llegar a su destino, eligiendo la que le convenga.

Normalmente, la primera idea que nos viene a la mente cuando pensamos en elección de ruta es la de un usuario que *escoge un camino* de entre un grupo de ellos. Esta elección se hace de acuerdo a las características individuales de la persona y la forma como "percibe" las alternativas y es un caso típico en transporte privado. Pero en transporte público, el usuario que está en un *paradero* tiene la opción de *escoger varios caminos*, porque existen varias *líneas de transporte* similares que circulan por esa *sección* que lo pueden llevar a destino. La línea que escoja será la que defina su ruta de usuario.

Para resolver el problema se parte con la suposición que el usuario abordará el primer vehículo que llegue y que éste será el que elija el camino que utilizará. Es obvio, que si hubiera llegado primero un vehículo de otra línea de transporte posiblemente seguiría otro camino. Cuando el usuario descienda del vehículo, y si es que llegado a su destino se concluye que el camino seguido por la línea de transporte constituyó la ruta del usuario. Si no ha llegado a su destino, se vuelve a enfrentar con el mismo problema de decidir la línea que lo lleve a su destino o lo más próximo a él.

Esta serie de decisiones para elegir una línea de transporte tomando en cuenta su intervalo, recorrido y en general el tiempo total de viaje, se denomina *estrategia*. Por eso una estrategia es definida como una serie de reglas o

procedimientos que permiten que el usuario llegue a destino, identificando las rutas con menor costo generalizado. Para hallar este costo se toma en cuenta los tiempos de caminata, espera, transbordo y tiempo en vehículo.

Cuando se obtiene las rutas que el usuario puede utilizar, se procede a asignar la demanda (recordar que la demanda está representada por un número de fijo de viajes entre un par origen – destino). Un método que se utiliza es el denominado *Estrategias Óptimas*. Este método distribuye el volumen de viajes entre el anterior par origen – destino de forma proporcional a las frecuencias de las líneas de transporte que circulan por las rutas óptimas.

De esta forma, se logra que cada una de los enlaces que conforman una ruta óptima tenga un número asignado de viajes.

Este proceso –elección de ruta y asignación– se realiza para cada uno de los pares origen – destino (zonas de tránsito) que existen en el área analizada, logrando un equilibrio entre la oferta y demanda de transporte público.

Al final del proceso de asignación, tanto en transporte privado como público, lo que se obtiene es un número de viajes asignados a cada una de las rutas escogidas por los usuarios de ambos modos. Con esto se consigue reconocer las rutas más utilizadas.

Cuando se llega a este punto se concluye con las cuatro etapas de un modelo de transporte, y lo que se ha obtenido es representar el comportamiento de viaje de toda un área. Se empezó por conocer el número de viajes e identificar sus motivos, saber a que lugares se dirigen, que modo de transporte usan y finalmente que caminos utilizan para viajar desde un origen a un destino.

REFERENCIAS

1. ORTUZAR, J. de D. y WILLUMSEN, L.G., *Modelling Transport*, Jhon Wiley & Sons Ltd., London, 1996.
2. CAL Y MAYOR, R. y CARDENAS, J., *Ingeniería de Tránsito*, VII Edición, Alfaomega, México, 1998.
3. ORTUZAR, J. de D., *Modelos de Demanda de Transporte*, Alfaomega Grupo Editor, México C.V., 2000.
4. ASOCIACION SOGELERG - CAL Y MAYOR – CESEL S.A., *Estudio Complementario de la Red de Metro de Lima – Estudio de Demanda. Informe Final*, Lima, 1998.
5. LANE, R., POWELL, T. y PRESTWOOD, P., *Planificación analítica del transporte*; Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid, 1975.

RECALIBRACION DEL MODELO DE TRANSPORTE

Calibrar es sinónimo de ajustar. Y eso se hace cuando se calibra un modelo de transporte: los valores obtenidos por éste se comparan y ajustan con valores obtenidos en trabajo de campo. El éxito de la calibración radica en que los resultados del modelo sean los más cercanos posibles a los datos reales.

Pero el título del capítulo señala una recalibración, y eso hace entender que se va a volver a calibrar un modelo. Eso es cierto. El año 1998, la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico (AATE) solicitó la realización de un estudio sobre la demanda de transporte urbano en la ciudad, y el trabajo le fue encargado a la asociación de las empresas Sogelerg (Francia), Cal y Mayor (México) y Cesel (Perú). El resultado de este estudio fue la creación – y su respectiva calibración – de un modelo de transporte para la urbe de Lima. El año 2001, se planteó utilizar el modelo anterior para crear un nuevo sistema de transporte para la ciudad, pero existía un problema: estaba desactualizado. Y ésta es la razón para volver a calibrarlo.

Existía un aspecto adicional para volver a calibrar. El modelo de 1998 se basa en una encuesta de Origen – Destino del año 1992, y desde ese año han

ocurrido varios acontecimientos en el ambiente del transporte de la ciudad que han repercutido en el comportamiento de viaje de las personas. Se creó nueva infraestructura, han surgido nuevas líneas de transporte, ha variado la oferta, ha cambiado el uso del suelo en algunas zonas, etc. Por eso, la necesidad de volver a calibrar los elementos más importantes de un modelo: sus matrices de viajes, porque es a partir de ellas que es posible simular escenarios futuros.

A lo largo de todo el capítulo anterior se ha explicado el proceso teórico de la modelación, el cual ha llevado a tratar todos los aspectos relacionados a ella. Lo que corresponde ahora es aplicar toda esa teoría en la nueva calibración. En verdad, aquellos aspectos teóricos no se verán de la forma secuencial en que fueron presentados pero eso no significa que no serán utilizados. A lo largo del capítulo se incluirán nuevos conceptos y se profundizarán otros, y todo ellos aplicados y en función a nuestra ciudad.

Como se mencionó al comenzar el capítulo, para calibrar se necesita datos de campo. Previamente al proceso de calibración, se realiza este tipo de trabajos para obtener datos reales en lugares seleccionados para los fines de la modelación. Cabe resaltar que todo estos estudios se enmarcan dentro de la fase de obtención de información que precede al desarrollo clásico de modelación¹¹. A continuación se describen aquellos trabajos y /o estudios necesarios, que para el caso nos concierne:

- *Aforos Vehiculares y de Pasajeros*. Son conteos de tráfico realizados en determinados lugares de la ciudad, y en ellos se obtuvo el volumen de unidades y pasajeros que circulan en las vías. Este estudio se realizó en 47 puntos para los periodos punta de la mañana y tarde, y en 6 puntos durante todo el día. Estos últimos se pueden apreciar en el Anexo 3.
- *Medición de tiempos de viaje*. Es un estudio que se realizó en 36 vías de la ciudad donde se obtuvo el tiempo de viaje en cada una de ellas, tanto para transporte público como privado.

¹¹ Ver el Gráfico 3.1 del capítulo 3.

- *Encuesta de Preferencia Declaradas.* Los resultados de la encuesta se utilizan en el cálculo del costo de viaje y en la asignación de la demanda.
- *Características socioeconómicas.* Las variables de población, ingreso, empleo y matrícula influyen en la generación de viajes. Estas variables se obtienen de instituciones como el INEI y el Ministerio de Educación.

Los anteriores son fuentes de datos que se obtuvieron especialmente para este trabajo. Pero también existieron otras que provienen del modelo de 1998, los cuales serán modificados y actualizados:

- *Matrices de viaje.* Son unos de los principales elementos de un modelo, y que serán actualizados utilizando los datos que se obtengan de campo en los procesos que se describirán más adelante. Existen matrices para transporte público y privado por motivo de viaje.
- *Zonas de tránsito.* Al igual que las anteriores, provienen del modelo de 1998 pero para esta ocasión serán incrementadas para representar mejor la zona de estudio. Recordar que a mayor número de zonas es mejor el análisis. Las zonas de tránsito se pueden observar en el Gráfico 4.1
- *Red vial.* Esta representación de la oferta de transporte será actualizada para cumplir con los propósitos de esta modelación. Se le agregará la nueva infraestructura existente, los cambios en la dirección y todo aquello que afecta el normal desenvolvimiento de la demanda. Asimismo, para el transporte público se le creó un sistema de rutas. La red preliminar se puede observar en el Gráfico 4.2.



Gráfico 4.1 Zonas de Tránsito
Fuente: Gerencia de Desarrollo. AATE

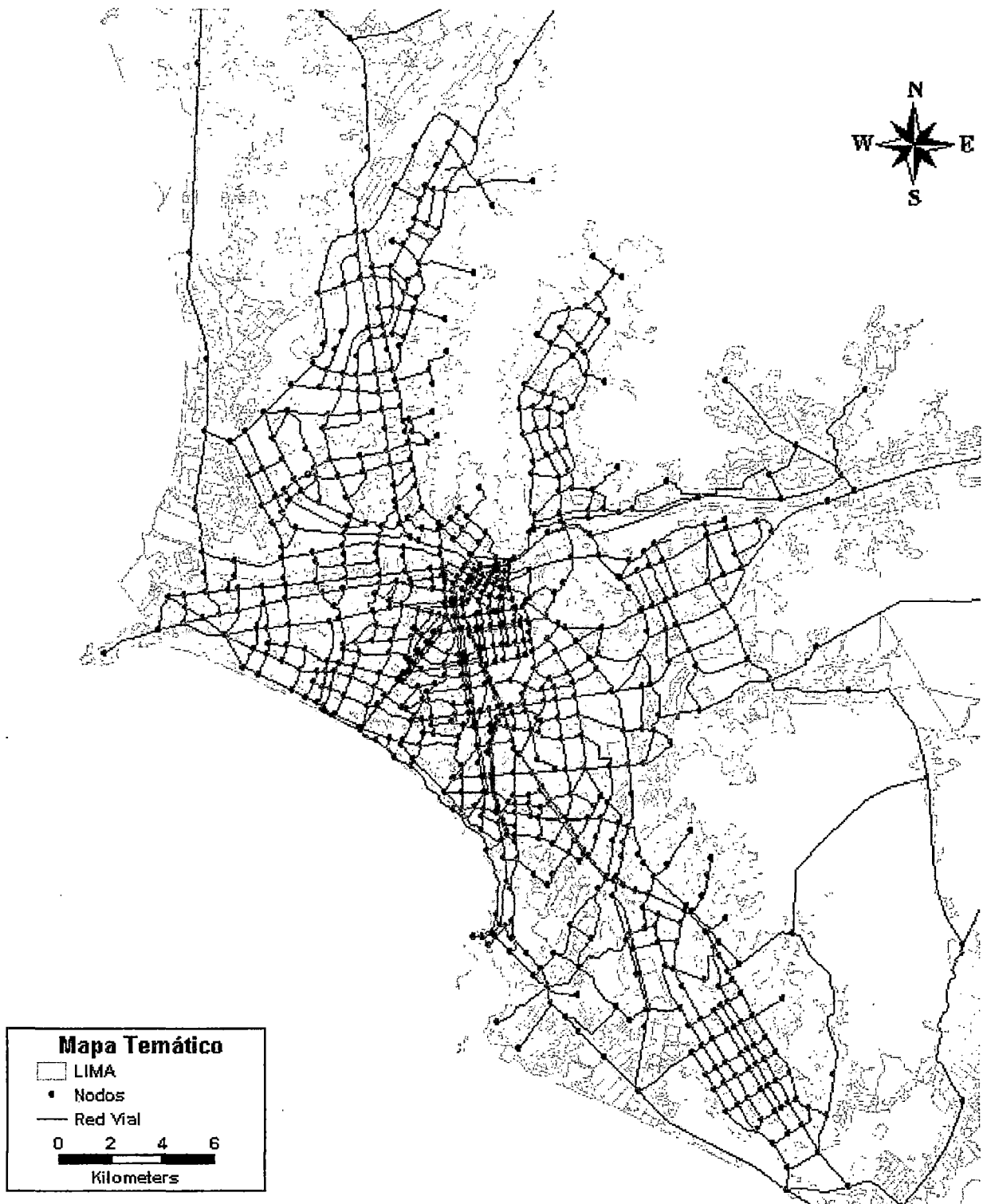


Gráfico 4.2 Red vial de modelación
Fuente: Gerencia de Desarrollo

El proceso de calibración

Es conocido que en la práctica profesional no necesariamente se cumple el orden que por efectos metodológicos se realiza en la teoría. Muchas veces conceptos muy avanzados se mezclan y analizan con otros simples, pudiendo llevar a la confusión a aquellos que no tienen bien cimentados los conceptos elementales. Este precepto se aplica también en este trabajo. Como se mencionó, los aspectos expuestos en el capítulo anterior no van a ser desarrollados de la forma secuencial estricta en este capítulo. Ellos sí estarán presentes, pero de forma distinta. El desarrollo de la calibración se ha dividido en cuatro partes saltantes:

- Calibración de la oferta de transporte público
- Calibración de la demanda de transporte privado
- Calibración de la oferta de transporte privado
- Calibración de la demanda de transporte público

En la primera parte, se ve los detalles realizados en la actualización de la red de transporte y de la calibración de los volúmenes vehiculares de transporte público. Se verá que éste último es necesario para posteriores calibraciones.

La segunda parte contiene todos los aspectos que involucra la calibración de la matriz de demanda viajes en transporte privado. Aquí se hace uso de los conceptos de generación, distribución y asignación de viajes. En primer lugar se verá lo concerniente a los ajustes que se realizaron a la matriz y su relación con la fase de Generación y Distribución de viajes. Después se procede con el desarrollo de la fase de Asignación – utilizando el Método de Wardrop – y la respectiva calibración de las funciones Volumen–Demora. Finalmente, se procede con lo concerniente a la calibración de los tiempos de viaje y su íntima relación con la Asignación.

En la tercera parte se explica los detalles en la calibración de la oferta vehicular en transporte privado. En rigor, este punto se realiza de manera simultánea con las calibraciones de las funciones Volumen-Demora y de los tiempos de viaje

del párrafo anterior. Pero para efectos de metodología y por pertenecer al componente de oferta es expuesto de esta manera.

Por último se describe todos los detalles correspondientes a la calibración de la matriz de demanda de viajes en transporte público. Se puede considerar que es la parte más importante de todo el proceso de calibración porque analiza el comportamiento de viaje de los pasajeros de este modo de transporte; además que se necesita todo los resultados anteriores para poder desarrollarla. En líneas generales, esta etapa se desenvuelve de manera similar a su par del modo privado. En primer término se expone la calibración del tiempo de viaje, y luego lo concerniente a los ajustes de la matriz y su relación con la Generación de viajes. Acto seguido lo que corresponde a la Distribución de viajes y su correspondiente calibración, para después seguir con la fase de Asignación y la calibración de ésta.

Terminado todo el proceso se logra obtener un modelo de transporte que represente la realidad, y dos de los resultados más importantes: la matriz de viajes en transporte público y la distribución de viajes en la red vial, ambas calibradas al año base.

Para finalizar, dos aspectos. Primero, hay que decir que en todo lo anterior no se hizo ninguna mención a la fase de Partición modal. La razón de esto es debido al desarrollo en sí del proceso de modelación en la cual se basa este trabajo, en el cual desde un comienzo se le “dividió” en los dos modos más importantes: público y privado. Lo ideal hubiera sido realizar la partición después de la fase de Distribución, pero de acuerdo a la metodología que se implementó y se venía usando desde los primeros estudios del modelo en 1998¹², indicaba que la demanda sea segmentada en los dos modos mencionados. Además, no olvidar que se está tratando con la calibración de un modelo existente y que por lo tanto el desarrollo de ésta debe ceñirse lo más posible al original. Otras razones para continuar empleando la metodología

¹² Denominado “Estudio Complementario de la Red del Metro de Lima” realizado por las firmas Sogelerg Ingenierie (Francia), Cal y Mayor (México) y Cesel (Perú).

anterior serán expuestas en las partes que corresponde a la calibración de la demanda en ambos modos.

Segundo, cuando se analiza el comportamiento de viaje se realiza en periodos representativos, los denominados *horas pico* o *periodo punta*. Primero se analiza el periodo punta de la mañana (que en nuestro caso es de las 07:00 a 09:00 horas), luego el periodo punta de la tarde (18:00 a 20:00 horas) y al final el periodo valle que es un promedio de las horas restantes. En lo que resta del capítulo los análisis y resultados corresponderán al periodo punta de la mañana. De los otros dos, de idéntico procedimiento al primero, se exponen en el Anexo 2.

4.1 CALIBRACION DE LA OFERTA DE TRANSPORTE PUBLICO

4.1.1 Actualización de la red de rutas

La red de rutas que se utiliza en modelación es una serie de nodos y puntos que unidos representan las principales vías del área de estudio. En el caso de este modelo, la red de rutas ya existía porque había sido desarrollado en 1998 para el Estudio del sistema de transporte de la ciudad. Sin embargo el problema que tenía esta red era su agregación o agrupación, es decir que no representaba algunas zonas y vías consideradas relevantes para el estudio del año 2001. Por esta razón es que se realizó una nueva red de rutas considerando ahora nuevas vías, accesos e infraestructura.

Una característica importante en esta red fue la representación de las principales rutas de transporte público. Éstas son “dibujadas” sobre la red¹³ de manera que puedan ser utilizadas en la calibración de la oferta de este modo de transporte. Sin embargo graficar todas las rutas existentes sería una tarea complicada, no tanto por el gran número de ellas sino por que la gran mayoría

¹³ El proceso de digitalización de las rutas fue realizado mediante el programa TransCAD

– en determinados ejes – realizan el mismo itinerario, es decir circulan por las mismas vías modificando solo algunos tramos en sus extremos. Y si sumamos a eso el hecho de que muchas unidades en Lima circulan por rutas no autorizadas, hacen de este trabajo un verdadero lío.

Por eso, como mencionamos en capítulos anteriores, la modelación se basa en suposiciones y simplificaciones de la realidad, y el caso de la oferta de transporte público es una de ellas. En consecuencia, las acciones tomadas para solucionar el problema fueron:

1. No considerar a las rutas autorizadas por las Municipalidades Provinciales del Callao y Huarochirí como individuales, sino que sean "absorbidas" por las rutas similares y autorizadas en su recorrido. Es decir la demanda de aquellas rutas sí existirán pero no de forma individual sino que serán añadidas a aquellas autorizadas por la DMTU. Además, no se puede negar que tales rutas son utilizadas por un gran porcentaje de la población y que tal demanda debe ser representada en el modelo, de otra forma no se estaría simulando adecuadamente la realidad.
2. Las rutas similares en más del 70% de su recorrido, se agruparon en una sola.
3. Eliminar los tramos "poco razonables" que presentan algunas rutas en su recorrido. Se definió tramo "poco razonable" a aquel que circulaba por zonas que en la realidad no presentaban mayor demanda, además que se sabía que era difícil que alguna empresa de transporte la realizara.
4. Se eliminaron las rutas circulares que no pasaban por vías restringidas y aquellas que tenía un recorrido poco práctico en la operación real de una empresa de transporte.

5. No agrupar las rutas que circulan por la Vía Expresa y la Av. Aviación

Antes del proceso de agregación de rutas se había identificado: 111 rutas sobre vías no restringidas por donde operaban dos o más empresas; 18 sobre la Vía Expresa y la Av. Aviación, que por ser de interés no se agregaron; y 405 en otras vías. En total había 534 rutas oficiales.

Después del proceso de agregación se obtuvo 317 rutas para toda la red mostrada en el Gráfico 4.3. En éste se muestra la red y sobre ellas – y en colores – las diferentes rutas de transporte público que serán utilizadas en el proceso de modelación.

4.1.2 Calibración de los vehículos de transporte público

Las rutas de transporte son operadas por autorización de la Dirección Municipal de Transporte Urbano (DMTU) donde se incluye también la frecuencia de operación de las unidades. Este último punto es importante en esta parte, porque permitirá hallar el volumen de vehículos.

La frecuencia de operación es el número de vehículos que circulan por unidad de tiempo. Cada ruta tiene una frecuencia distinta que depende de las características físicas de la infraestructura de los tramos que recorre y de los niveles de operación que estos tramos exigen. Para el caso de este modelo se definió como frecuencia límite 15 minutos, es decir que en una ruta cualquiera el máximo intervalo entre vehículos será de 15 minutos. Los datos de las frecuencias iniciales con que se iniciaba el proceso fue brindado por la DMTU.

El proceso de calibración de la oferta de transporte público es iterativo y consiste en hallar los volúmenes vehiculares en función de la frecuencia para luego compararlos y ajustarlos con datos reales. Por lo tanto, los datos que se necesitan para realizar este proceso de calibración son los aforos (conteos de tráfico) y la red de transporte público (creada previamente).



Gráfico 4.3. Red de transporte público. Cada vía por donde circula una ruta de transporte público tiene un color diferente. Notar que no todas las vías tienen presencia de transporte público. Por ejemplo, esta red representa a Lima y algunas de las vías del centro histórico no están coloreadas (área encerrada en un círculo).

Fuente: Gerencia de Desarrollo. AATE

Procedimiento de calibración

Para un mayor entendimiento se explicará el proceso que se siguió, tomando como ejemplo una tramo hipotético "T" perteneciente a la red vial por donde circulan tres rutas diferentes, tal como se muestra en el Gráfico 4.4.

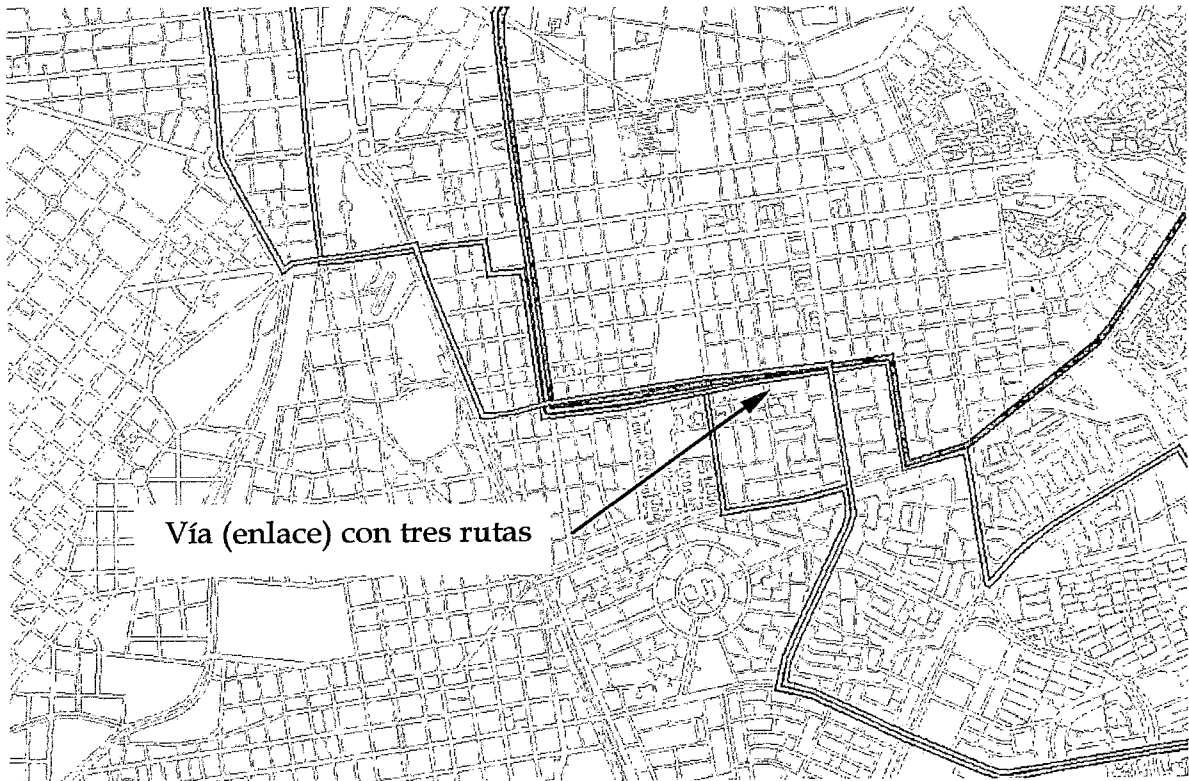


Gráfico 4.4. Tres rutas de transporte en una vía de la ciudad
Fuente: Gerencia de Desarrollo, AATE

Antes de iniciar el procedimiento, una fórmula importante incluida en el modelo y que sirve para hallar el número de unidades transporte público (en este caso en dos horas) es la que se muestra a continuación:

$$N_{\text{mod}} = \sum_{i=1}^n \frac{120}{hdw_i} \quad \text{..... Ecuación 4.1}$$

- donde:
- N_{mod} = número total de unidades de transporte público modelados en el tramo analizado
 - n = número de rutas en el tramo
 - hdw_i = frecuencia de la ruta i

La sumatoria de las unidades vehiculares que brinda cada una de las rutas da como resultado el número total de unidades que circulan en el tramo. Además que en ese mismo tramo – para el ejemplo – se considerará que se realizó un aforo donde se calculó el número real de unidades (N_{obs}) que circulan.

Paso 1

Calcular en el tramo aforado el cociente entre el número de vehículos observados y del modelo, el cual servirá para "ajustar" las frecuencias iniciales de las rutas que pasen por el tramo.

Es decir, se debe calcular el cociente entre el valor que brinda el modelo (N_{mod}) y luego se le compara con la oferta que se ha obtenido en los aforos (N_{obs}) para el enlace, obteniéndose:

$$k = \frac{N_{obs}}{N_{mod}} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 4.2}$$

si el cociente es mayor que la unidad, significa que los flujos que brinda el modelo son menores a los que se obtuvieron en el campo, por lo que se tiene que incrementarlos. Pero si el cociente es inferior a la unidad, indica que los volúmenes que el modelo presenta son mayores a los aforados y es necesario reducirlos. En ambos casos se tiene que "ajustar" las frecuencias iniciales para adecuarlas al flujo que brinda los aforos.

En nuestro hipotético tramo "T" se obtiene un factor k_T que afecta a cada una de las tres frecuencias de las rutas, obteniéndose tres nuevas frecuencias.

Paso 2

Se calcula un promedio de las frecuencias para cada ruta.

El paso anterior se realizó de forma simultánea en todos los tramos donde se realizó un aforo en la red. De esta manera para una ruta cualquiera se obtuvo

una frecuencia diferente para cada uno de los tramos de su recorrido donde se haya realizado un aforo. Lo que se tiene que hacer ahora es promediar esas frecuencias.

Por ejemplo, supongamos que una de las tres rutas que pasa por el tramo "T" haya cruzado durante su recorrido otros "n" tramos o enlaces donde se hayan realizado aforos; entonces al final del paso anterior se obtendrá "n" frecuencias diferentes para la misma ruta. En este paso se promedia todas esas frecuencias. De igual manera se realiza con las otras dos rutas si es que cruzan otros puntos de aforo.

Paso 3

Se vuelve a calcular la oferta de vehículos del modelo con las nuevas frecuencias y se compara a la cantidad de vehículos observados.

En el tramo "T" se calcula nuevamente el flujo vehicular utilizando la Ecuación 4.1 y se vuelve a comparar con el flujo obtenido en los aforos. De esto se obtiene un nuevo factor k^2_T que afecta – otra vez – a las tres frecuencias.

Paso 4

Se concluye con este procedimiento si es que la diferencia entre los dos últimos resultados cumple con el margen de error esperado. En caso contrario, se retorna al Paso 1, para continuar iterando.

El margen de error lo plantea el modelador hasta que el N_{mod} sea similar a N_{obs} . En nuestro caso el error fue menor al 1% en promedio en más de 20 iteraciones. La eficacia de la calibración puede observarse en el Gráfico 4.5 donde se muestra la correlación entre ambos resultados.

Al conseguir que en algunos tramos se consiga modelar el valor real de los vehículos de transporte público que circulan, nos lleva a obtener, de manera

indirecta, que los volúmenes en el resto de enlaces de la red se ajusten a los valores calibrados.

Como resultado final, se consigue que en toda la red se obtenga valores fijos de unidades de transporte público.

4.2 CALIBRACIÓN DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE PRIVADO

Demanda de transporte es sinónimo, en modelación, de matriz de viajes. Es por esa razón que en toda esta parte se trabaja con matrices y un aspecto importante de ellas, para este modo de transporte, es que representan el número de viajes por número de autos. Es decir si en una celda de la matriz se observa que de la zona i a la zona j existen 100 viajes, quiere decir que entre ambas zonas se movilizan 100 autos. El número de pasajeros se halla multiplicando el número de autos y la tasa de ocupación (personas/auto). Esta forma de representación es diferente a la del modo público donde las matrices representan los viajes por número de pasajeros, como se verá más adelante.

Antes de empezar, es necesario aclarar que debido a la metodología en que se basa este trabajo, no se aplicará los conceptos de Generación de viajes ni de Distribución de la forma como las presentamos en el anterior capítulo. El motivo de esto se encuentra en el título de esta tesis. Recordar que este trabajo desarrolla la calibración de un modelo de transporte. No sobre la creación de uno nuevo. Y esto quiere decir que el modelo precedente – el de 1998 – ya tiene una matriz de viajes, que ha sido distribuida, particionada y asignada a la red que se creó en su momento. El problema es que está desactualizada porque fue creada en el Estudio de aquel año y que hacíamos referencia anteriormente.

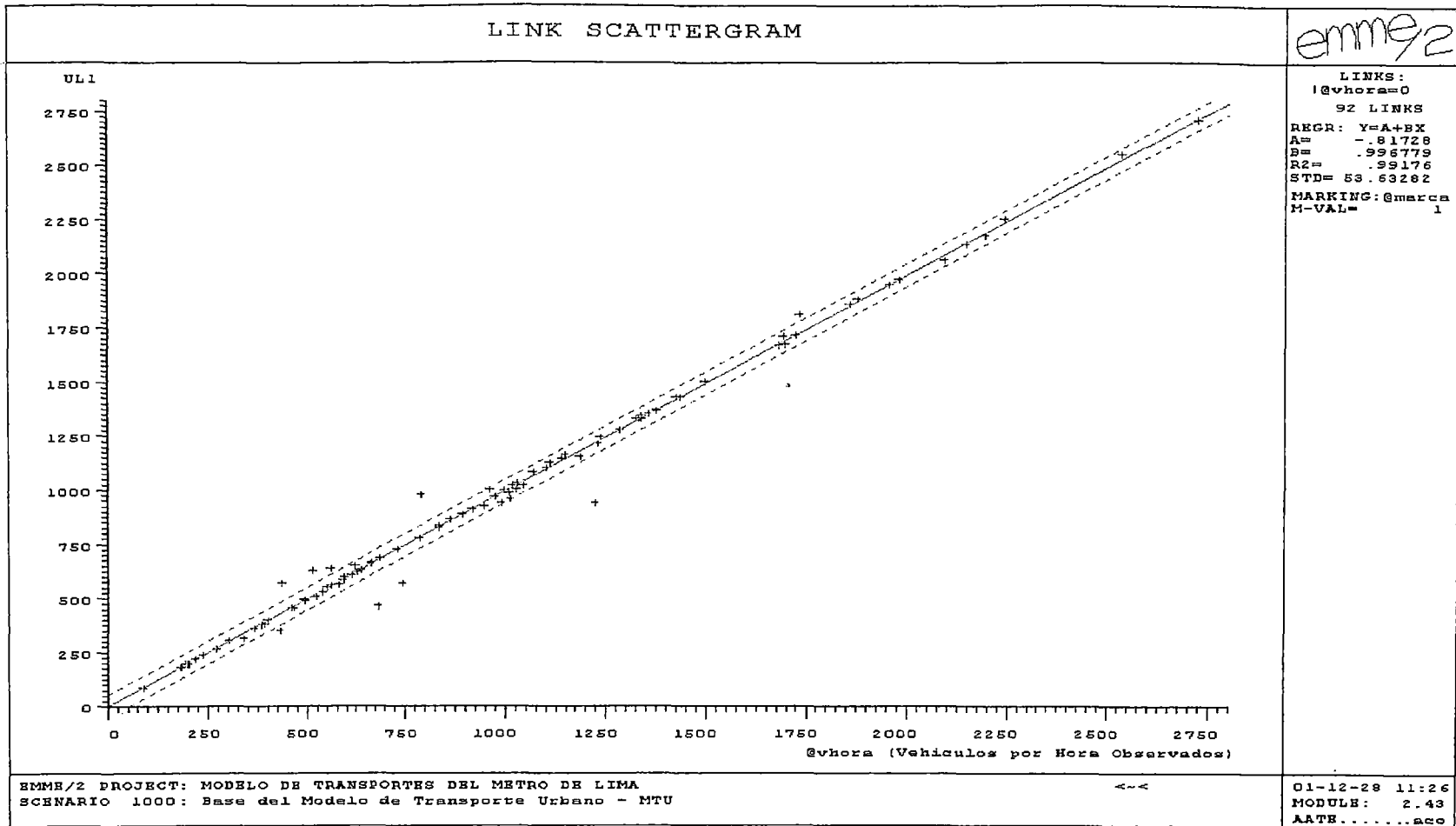


Gráfico 4.5. Calibración de la oferta de transporte público. La efectividad del modelo se observa en el coeficiente de correlación $R^2 = 0.9917$. El formato pertenece al programa de planificación de transporte EMME/2

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

Es así que las fases de Generación y Distribución no se aplican directamente. La primera porque implica – como se sabe – el reunir información para formar unos vectores de atracción y producción de viaje, que no se necesita porque ya existen. La segunda, porque conlleva a utilizar los vectores anteriores para distribuir y formar una matriz de demanda de viaje, que también existe. Sin embargo, los parámetros que se utilizaron para distribuir la matriz en 1998 no son los mismos para el nuevo año base, por lo que es necesario calibrar la distribución para actualizarla. Y es así como comienza el desarrollo de esta parte.

4.2.1 Calibración de la distribución

Lo que se buscaba obtener desde el momento que se planteó realizar la partición modal al principio de la modelación, eran las matrices de viaje por modo. Es decir, una matriz de viaje para transporte público y una matriz para transporte privado.

Desde el momento que se reunió toda la información socioeconómica para generar unos vectores de viaje (en 1998), ya se había pensado en qué todo el proceso debería adecuarse a conseguir los factores que afectan a cada modo por separado. De esta manera se podía analizar la matriz de un modo después de la otra.

La calibración de la distribución consiste en un ajuste de la matriz de viajes, el cual es la suma de otras que fueron halladas por motivo de viaje. Es decir, en el estudio se consiguió obtener matrices de viajes por motivo de Trabajo, Estudio, Compras (basados en el hogar) y por Otros motivos (no basados en el hogar) tal como se manifiesta en la teoría de Generación de viajes; y la suma de aquellas matrices resultó en otra, que es la que se actualizó.

Idealmente es recomendable ajustar las matrices desagregadas, vale decir cada matriz por motivo es afectada por un factor que simule el cambio de la variable socioeconómica correspondiente como el ingreso, el número de matrículas o la población. Después se suman, y se obtiene la nueva matriz.

Pero, los argumentos para no hacerlo de esa manera fueron de orden práctico y económico.

El argumento práctico indica que la demanda para el modo privado es aproximadamente 20% de la demanda total, y que por tal razón estratificar ese porcentaje puede ser justificable si el estudio está orientado a analizar ese sector, además de contar con los datos e información suficiente para hacerlo. Como el análisis está dirigido a dar mayor prioridad al transporte público (que es el porcentaje más grueso de la demanda) se decidió utilizar la matriz agregada o total¹⁴. El ajuste de la matriz distribuida se realizó utilizando aforos sobre líneas cortina y un Diagrama de frecuencias de viaje.

4.2.1.1 Ajuste por Líneas cortina¹⁵ y Diagrama de frecuencias

Este paso es una calibración a nivel macro por que se trata – en parte – de un ajuste mediante aforos realizados en algunos puntos estratégicos de la ciudad. En estos conteos de tráfico se logra obtener la demanda en transporte privado que cruzan ciertas líneas que *cortan* Lima.

El proceso se realiza mediante un proceso matemático denominado Balanceo Tridimensional, que básicamente consiste en ajustar la matriz tomando en cuenta tres restricciones: dos de ellas son matrices de datos reales y la tercera es un rango de valores. En nuestro caso, las dos matrices son los viajes obtenidos de los aforos en las líneas cortinas (en forma de matriz fila y matriz columna) y el rango de valores es el Diagrama de Frecuencias de Viajes.

El algoritmo matemático del método de Balanceo Tridimensional permite ajustar, mediante iteraciones, los valores de las celdas de la matriz original m_1 a los nuevos valores de las restricciones a las que hacíamos referencia: una matriz columna V_1 y una matriz fila V_2 que serán los nuevos vectores origen y

¹⁴ En países, como Chile, con más experiencia en estos temas los viajes se estratifican no solo por motivo de viaje sino por estrato socioeconómico, y cada una de las estratificaciones genera una nueva matriz. Esto sin lugar a dudas es mucho más deseable pero implica enfrentarse el argumento de la falta de recursos económicos para llevar a cabo los estudios correspondientes.

¹⁵ El concepto de línea cortina se explicó en el ítem 3.1.1.

destino respectivamente, de la nueva matriz distribuida M_1 (Ver Gráfico 4.6). En el vector origen v_1 se encuentran todos los viajes de la demanda de transporte privado que cruzan las líneas cortina en un sentido, mientras que en el vector destino v_2 se encuentran todos los viajes de la demanda en el otro sentido.

El Diagrama de frecuencias, interviene para asegurara que los nuevos viajes distribuidos cumplan con el comportamiento de la demanda, es decir, pocos viajes cortos y largos, y una mayor cantidad de viajes de tiempo medio.

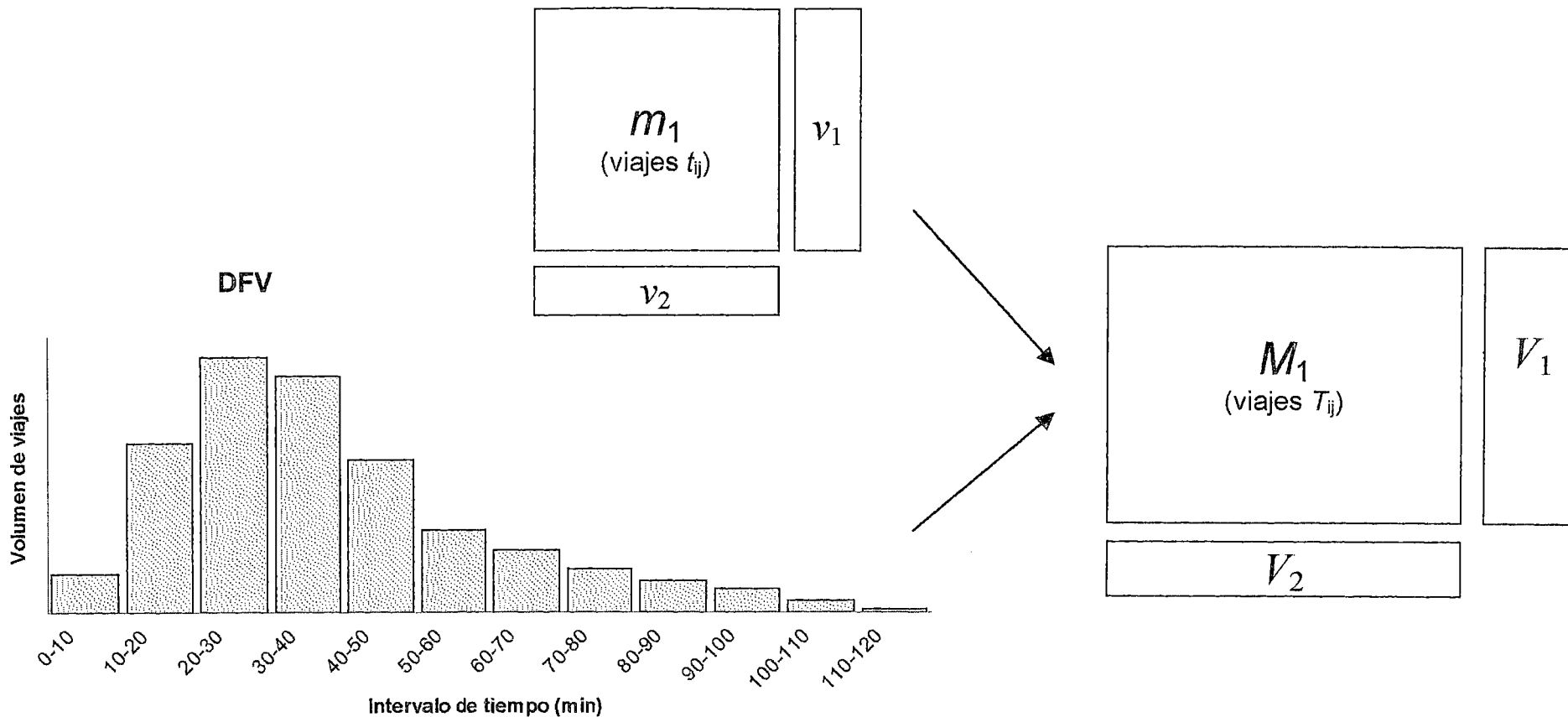
Al culminar el Balance Tridimensional se obtiene una matriz distribuida y calibrada que brinda una idea de los movimientos de viaje entre las 631 zonas de estudio (recordar que la matriz de distribución brinda una idea de los viajes que se realizan entre las zonas de tránsito en que se divide la ciudad).

4.2.2 Asignación de la matriz y calibración

Terminada la fase de distribución, la matriz ajustada anteriormente está lista para ser "cargada" sobre la red que se digitalizó y calibró (en el ítem 4.1) Hasta ahora, ya se sabe el número de viajes que realiza la demanda de una zona a otra, ajustada al año base. Lo que no se conoce son las rutas que utilizan para llegar de un origen a un destino. Al finalizar el proceso de asignación se podrá conocer cuanta demanda soporta cada una de las vías de la red que se analiza.

El problema, si puede llamarse así, radica en cuanta demanda debe asignarse a cada una de las vías. Es decir, si de la matriz calibrada se extrae que en una zona se originan 100 viajes hacia una zona destino, y solo existen tres posibles caminos, ¿cómo se hace para saber cuanta demanda tiene cada una de las vías, de tal manera que al final la suma de las tres siga siendo 100?. Aquí es donde ingresa el método de Wardrop¹⁶ para ayudar con el problema. Básicamente este método utiliza el costo (tiempo) de viaje en transporte

¹⁶ Explicación detallada del método se encuentra en el ítem 3.5.3.1



m_1 = matriz de viajes original
 M_1 = matriz de viajes ajustada
 v_1 = vector origen original
 v_2 = vector destino original

V_1 = vector origen restrictivo (1° restricción)
 V_2 = vector destino restrictivo (2° restricción)
 DFV = diagrama de frecuencia de viajes (3 restricción)

Gráfico 4.6. Procedimiento de ajuste de matriz mediante Balanceo Tridimensional
 Fuente: Elaboración propia

privado como variable para hallar el número de viajes que tendría las tres vías anteriores. Pero el resultado no se halla al primer intento, sino que es un proceso iterativo que termina cuando el modelo estima los costos (más cercanos a la realidad) que utilizan los autos en cada vía

El proceso se puede dividir en cuatro partes, aunque el modelo los efectúa de manera simultánea: calibración de tiempo de viaje, calibración de volumen de autos, calibración de las funciones volumen-demora y la calibración de la asignación. El segundo de ellos por ser más cercano a la oferta de transporte se verá en el ítem 4.3.

4.2.2.1 Calibración de los tiempos de viaje

Se mencionó que el método que se va utilizar hacía uso del costo de viaje para realizar la asignación. Es cierto, pero aquel es el *costo generalizado de viaje* que tiene unidades de tiempo, y si se recuerda este costo es la suma de todos los tiempos utilizados en un viaje, que en el transporte privado se reduce a uno solo: el tiempo en vehículo¹⁷. Por lo tanto en la calibración de tiempos solo se incluye y analiza éste.

Este tiempo de viaje se halla de acuerdo a las funciones volumen – demora, y utiliza la capacidad vehicular y el volumen de las vías para estimarlos.

Función Volumen – Demora tipo BPR

$$tiempo = \frac{longitud}{v_o} * \left[1 + \alpha * \left(\frac{volumen}{capacidad} \right)^\beta \right]$$

¹⁷ A diferencia del transporte público donde el costo (tiempo) de viaje total incluye: el tiempo de caminata, el tiempo de espera, el tiempo de transbordo y por último el tiempo en vehículo.

Función Volumen – Demora tipo cónica

$$tiempo = \frac{longitud}{v_0} * \left[2 + \sqrt{\alpha^2 \left(\left(1 - \frac{volumen}{capacidad} \right)^2 + \beta^2 \right)} - \alpha \left(1 - \frac{volumen}{capacidad} \right) - \beta \right]$$

Las funciones anteriores son utilizadas en la asignación. El tiempo de viaje que estima estas funciones es el denominado *tiempo modelado* y que es contrastado, en la calibración, con un valor de tiempo tomado en campo denominado *tiempo observado*.

Cada vez que se realiza una iteración el modelo ajusta con mayor precisión el valor de *tiempo modelado*, el cual supone hallar nuevos valores para la variable *volumen* y los coeficientes α y β . Estos tres son los “tornillos” de ajuste que se utilizan para hallar los valores. Además:

$$volumen = Volumen\ autos + Volumen\ transporte\ público + Volumen\ camiones$$

donde el valor de transporte público ya fue hallado en la calibración anterior y los camiones son una proporción del volumen de autos. Ambos volúmenes son fijos para cada uno de los enlaces de la red. De esta manera, la única variable dentro de la – permítase redundar – variable *volumen* es el número de autos, el cual tiene como referencia y restricción el valor obtenido en los aforos vehiculares. La calibración del volumen de autos se hace de forma indirecta porque mientras la calibración de tiempos de viaje sea satisfactoria, aquel también lo será. Los resultados de este ajuste, como mencionamos, se presentan en un ítem posterior.

Los resultados de la calibración de tiempos de viaje en este modelo en el periodo punta de la mañana se presentan en los Gráficos 4.7 a 4.9, donde se expone los resultados de la primera, quinta y décima iteración. Nótese que cada vez el valor de correlación R^2 mejora. Esto quiere decir que a medida que se iteraba, mejoraban los tiempos y se ajustaban mucho mejor a los valores reales, así como se obtenía los valores finales de las funciones.

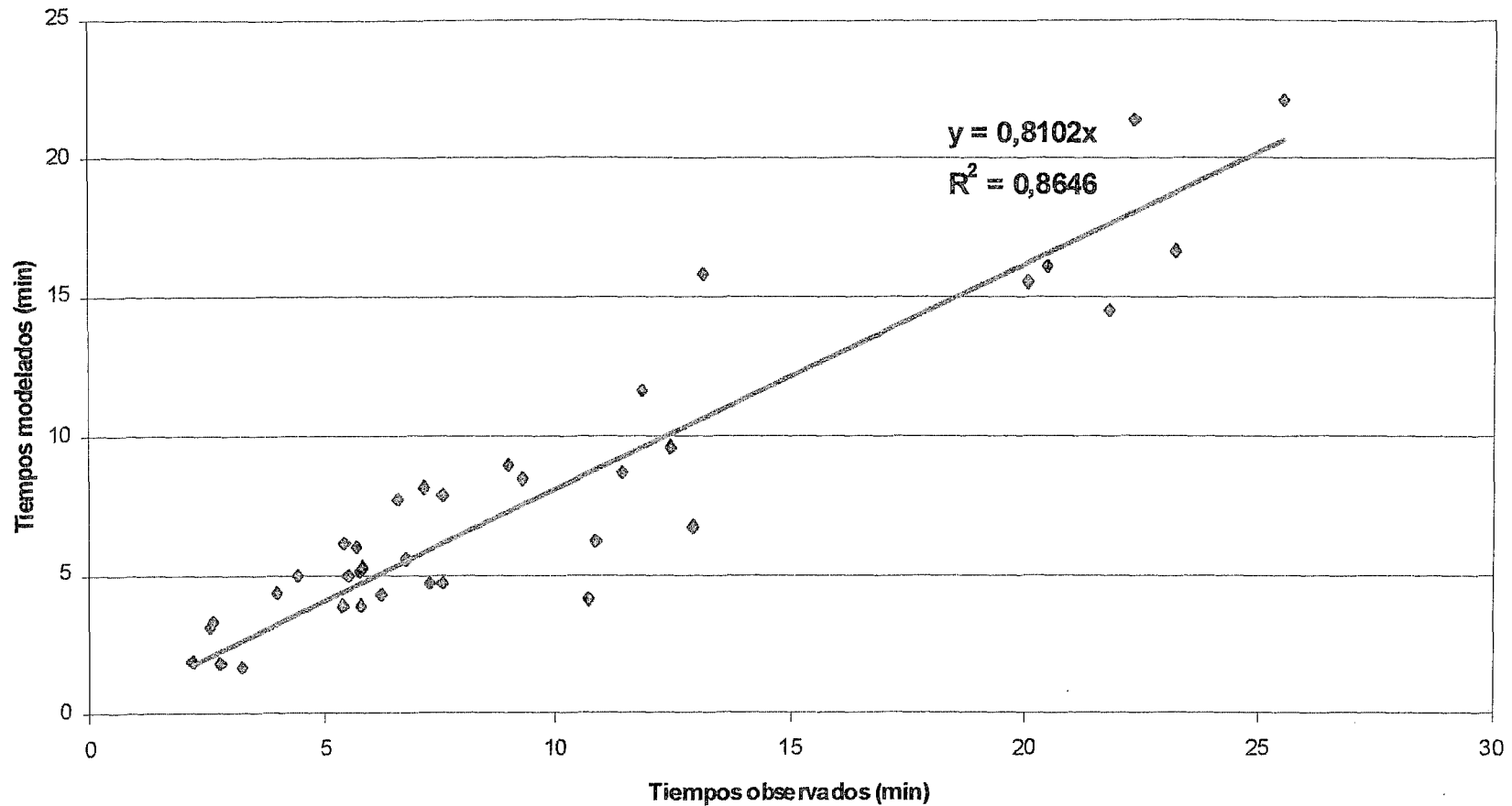


Gráfico 4.7. Correlación de tiempos observados y modelados en transporte privado para periodo punta de la mañana. Primera iteración

Fuente: Calibración del Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE

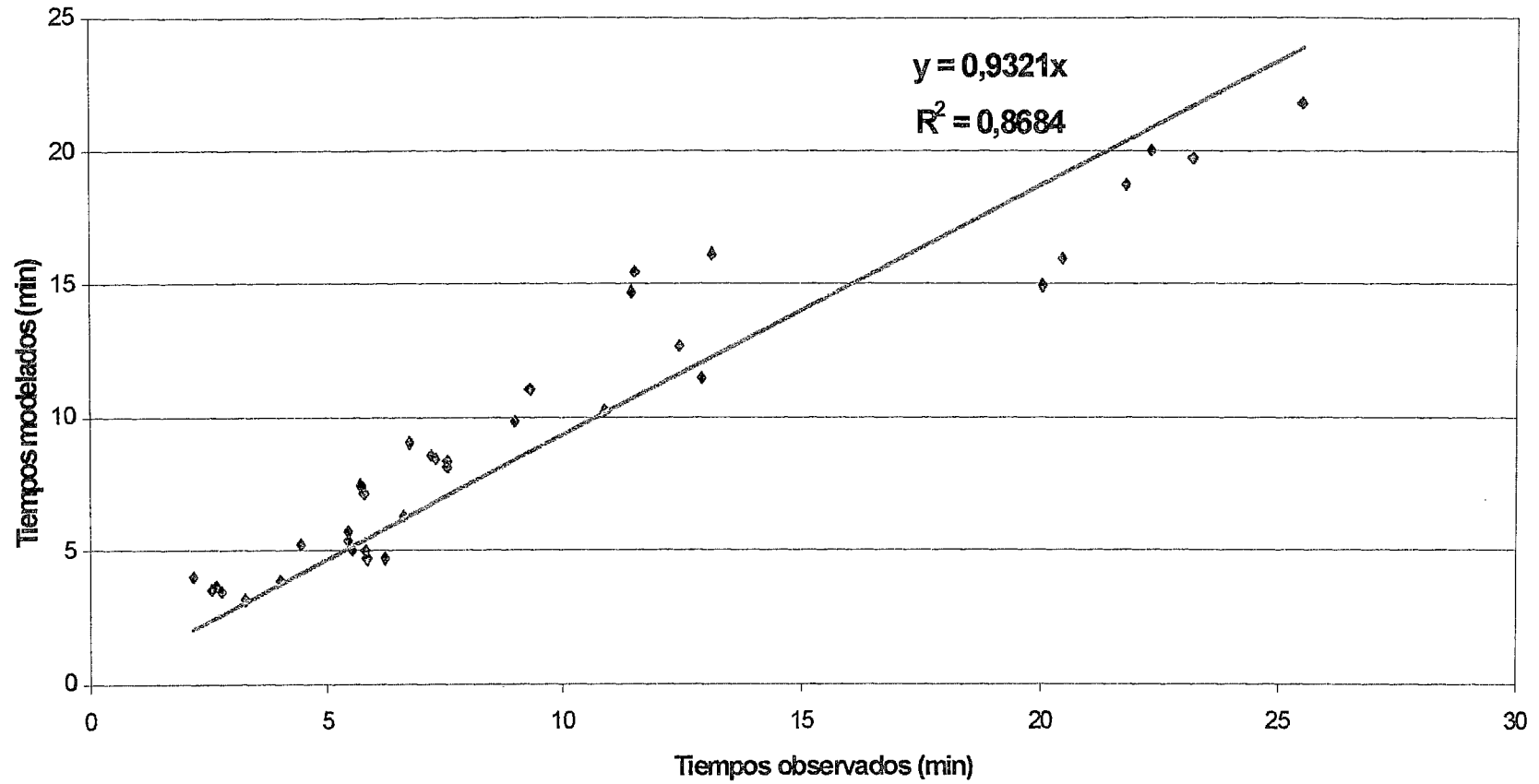


Gráfico 4.8. Correlación de tiempos observados y modelados en transporte privado para periodo punta de la mañana. Quinta iteración.

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

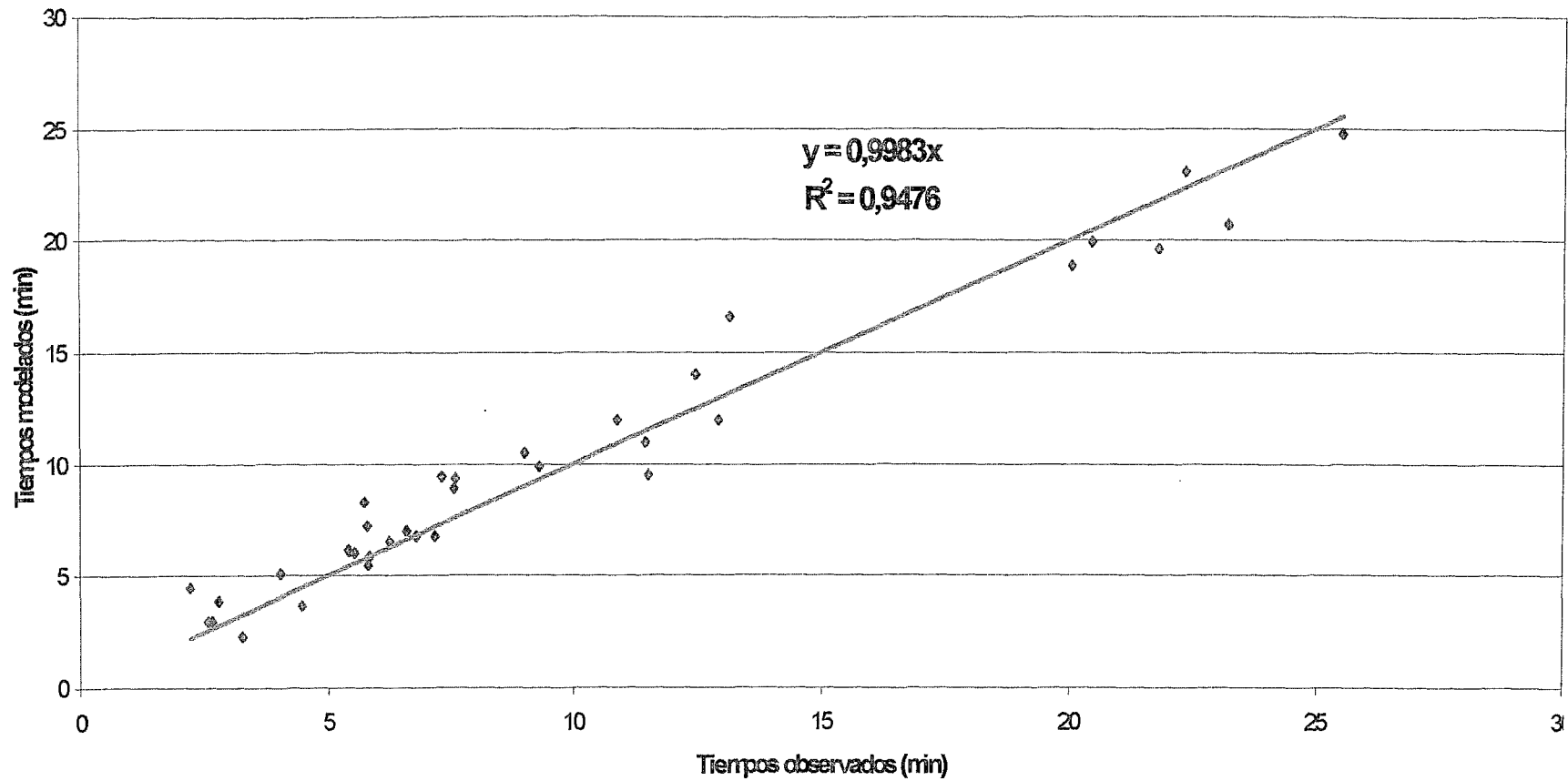


Gráfico 4.9. Correlación de tiempos observados y modelados en transporte privado para periodo punta de la mañana. Décima iteración

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE

4.2.2.2 Calibración de las funciones volumen – demora

En rigor, la calibración de las funciones volumen – demora, es casi lo mismo que la calibración de los tiempos de viajes, porque éstos resultan de aquellos. Adicionalmente, en el ítem anterior se adelantó que las variables *volumen*, α y β son considerados como los tornillos en la calibración de los tiempos.

Esta aparente repetición es por el hecho, comentado anteriormente, que los tiempos, volúmenes y las funciones volumen – demora son calibrados simultáneamente.

En este ítem hablaremos poco más de α y β . Estos dos, son hallados junto con los volúmenes, para que, reunidos luego los tres, arrojen tiempos de viaje. Sería bueno volver a precisar, que nos encontramos en la fase de asignación y calibración de la matriz de transporte privado, donde el método de Wardrop, haciendo uso de tiempos de viaje, asigna demanda a las diferentes vías en la red. Es así que, luego de varias iteraciones, el método llega a establecer un equilibrio, que mencionamos en el capítulo en el anterior.

En este punto, los tiempos y los volúmenes tienen valores similares a la realidad, y las funciones (que incluyen α y β) han sido calibradas de tal forma que reproduzcan aquellos tiempos. Es decir, que han sido ajustados al año base, en este caso 2001.

Sin embargo, cuando se desarrolle escenarios futuros en función del año base, nuevamente se realizará el mismo proceso de asignación, pero ya no el proceso de calibración. En otras palabras, los valores de tiempo y volúmenes podrán cambiar – y lo harán – pero las variables α y β , no. Es por eso que, se consideró tratar la calibración de las funciones volumen – demora, como un ítem aparte de los tiempos, aunque en el fondo es lo mismo.

La razón para ya no hallar α y β en el desarrollo de escenarios futuros, es que la aproximación inicial de estas dos variables, provienen de datos de campo. Si se pronostica el comportamiento de viaje del año 2010, por ejemplo, es obvio que tendremos que hacerlo en función de un año base, porque no contamos con datos de campo de tal año.

Adicionalmente, en las funciones volumen – demora se utilizan dos variables más: la capacidad vehicular y la velocidad de flujo libre (v_o). La primera se calculó sobre la base de datos de campo, y fueron dos las metodologías utilizadas: en vías expresas se recurrió al Manual de Capacidad en Autopistas (Highway Capacity Manual, 1998) y en vías semaforizadas al Manual de Capacidad y Niveles de Servicio en Intersecciones Semaforizadas¹⁸. La segunda, se halla también sobre el mismo estudio de campo, y es un valor ideal de velocidad cuando la vía no tiene ningún flujo y el vehículo tiene la vía libre para desplazarse.

Hay que decir que cada uno de los enlaces de la red mostrada en el Grafico 4.1 tiene su propia función volumen – demora. En la red agregada desarrollada existen 5324 enlaces, pero eso no significa que existe igual cantidad de funciones. Lo que se hace es agrupar las vías en tipos comunes y representativos como vías arteriales, colectoras, expresas, etc. Esta clasificación de vías es la que se muestra en la Tabla 4.1.

Los resultados de las funciones calibradas para el periodo punta de la mañana se muestran en la Tabla 4.2.

¹⁸ Este manual fue desarrollado por el Instituto Metropolitano de Planificación (IMP) en 1992.

Tipo (Type)	Clasificación de Primer Nivel (*)	Clasificación de Segundo Nivel (**)	Descripción
1		Peatonal	Vías exclusivamente peatonales
2	Local	Local	Son exclusivamente para dar acceso a la propiedad privada
3	Vías Colectoras	Vías Colectoras	Tienen como función llevar el tránsito vehicular de las calles locales a las vías arteriales
5	Vías Nacionales		Vías Nacionales.
6		Conector	Conector desde el centroide a un nodo en la red (Enlace tipo "Dummy")
7		Rampa	Rampa de entrada y/o salida
9		Conector 1	Conector de vías desagregadas. (Enlace tipo "Dummy")
10	Vías Arteriales	Corredor Tipo A	Vía segregada para transporte público y baja interferencia transversal. Ejemplo Corredor Paseo de la República.
11		Corredor Tipo B	Vía segregada para transporte público y privado, con intersecciones a nivel e intersecciones semaforizadas con dos carriles por sentido. Ejemplo Av. Brasil, Av. Alfonso Ugarte, Av. Grau.
12		Corredor Tipo C	Vía segregada para transporte público y privado, con intersecciones a nivel y semaforizadas y un solo carril por sentido. Ejemplo Av. Tomás Marsano.
13		Tipo D	Vía de gran capacidad de 2 ó 3 carriles por sentido y de tráfico mixto con intersecciones a nivel y semaforizadas. Ejemplo Av. Javier Prado y Av. La Marina.
14		Tipo E	Vía de gran capacidad de 2 carriles por sentido y tráfico mixto con intersecciones a nivel y semaforizadas y donde convergen las vías colectoras.
15		Tipo F	Vía de 1 carril por sentido y tráfico mixto con intersecciones a nivel y semaforizadas y donde convergen las vías colectoras. Pe. Tramo de la Av. Venezuela.
16		Tipo G	Vía de gran capacidad de 2 ó 3 carriles por sentido y tráfico mixto con intersecciones a nivel y semaforizadas y donde convergen las vías colectoras y se caracterizan por ser vías muy lentas
17		Tipo H	Vía de gran capacidad de 2 ó 3 carriles por sentido y tráfico mixto con intersecciones a nivel y semaforizadas y donde convergen las vías colectoras presencia relevante de vehículos de carga. Ejemplo: Av. Nicolás Ayllón, Av. Panamericana Norte.
20	Vías Expresas	Tipo A	Son vías de gran capacidad de transporte privado, con acceso y salida por rampas, sin interferencia transversal o intersecciones a desnivel. Ejemplo Vía Expresa de Av. Paseo de la República.
21		Tipo B	Son vías de gran capacidad con tráfico mixto, con acceso a nivel e intersecciones muy distanciados, existiendo paraderos de transporte público y Peaje. p.e. Panamericana Sur y Vía de Evitamiento hasta Trébol de Caquetá, Panamericana Norte hasta Av. Canta Callao.
22		Tipo C	Son vías de gran capacidad con tráfico mixto, con acceso a nivel e intersecciones muy distanciados, existiendo paraderos de transporte público sin Peaje. Ejemplo Carretera Ventanilla.
23		Tipo D	Son vías de alto nivel de servicio de transporte privado, acceso y salidas restringidos pero de baja capacidad. Ejemplo Vía de la Costanera.

(*) De acuerdo al Manual de Capacidad y Niveles de Servicio en Intersecciones Semaforizadas. Instituto Metropolitano de Planificación (IMP).

(**) Realizado por la Gerencia de Desarrollo de la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico (AATE) para propósitos de modelación.

Tabla 4.1 Clasificación funcional de vías
Fuente: Gerencia de Desarrollo. AATE


```

fd1=length*15
fd2=length*(60/22.32)*(1+0.8*((volau+ul1)/ul2))
fd3=length*(60/26.78)*(2+sqrt(9*(1-put((volau+ul1)/ul2))^2+1.56)-4.25+3*get(1))
fd5=length*(60/71.43)*(1+0.55*((volau+ul1)/ul2)^6)
fd6=3
fd7=length*(60/2.32)
fd8=length*(60/17.86)*(1+0.6*((volau+ul1)/ul2))
fd9=length*(60/13.39)
fd11=length*(60/22.32)*(2+sqrt(1.44*(1-put((volau+ul1)/ul2))^2+12.25)-4.7+1.2*get(1))
fd12=length*(60/35.71)*(2+sqrt(16*(1-put((volau+ul1)/ul2))^2+1.37)-5.17+4*get(1))
fd13=length*(60/35.71)*(2+sqrt(16*(1-put((volau+ul1)/ul2))^2+1.37)-5.17+4*get(1))
fd14=length*(60/33.93)*(2+sqrt(4*(1-put((volau+ul1)/ul2))^2+2.25)-3.5+2*get(1))
fd15=length*(60/26.79)*(2+sqrt(2.25*(1-put((volau+ul1)/ul2))^2+4)-3.5+1.5*get(1))
fd16=length*(60/26.79)*(2+sqrt(9*(1-put((volau+ul1)/ul2))^2+1.56)-4.25+3*get(1))
fd17=length*(60/44.64)*(2+sqrt(7.84*(1-put((volau+ul1)/ul2))^2+1.64)-4.08+2.8*get(1))
c fd18= para vías mas rápidas de fd13
fd18=length*(60/40.18)*(1+0.15*((volau+ul1)/ul2)^3.5)
fd20=length*(60/71.43)*(1+0.7*((volau+ul1)/ul2)^2)
fd21=length*(60/80.36)*(1+0.29*((volau+ul1)/ul2)^3)
fd22=length*(60/71.43)*(1+0.55*((volau+ul1)/ul2)^3)
fd23=length*(60/62.50)*(1+0.25*((volau+ul1)/ul2)^7)
fd24=length*(60/71.43)*(1+0.55*((volau+ul1)/ul2)^2.5)
fd25=length*(60/44.64)*(1+0.25*((volau+ul1)/ul2)^7)
fd30=length*(60/8.93)*(1+0.6*((volau+ul1)/ul2))
fd31=length*(60/22.32)*(2+sqrt(9*(1-put((volau+ul1)/ul2))^2+1.56)-4.25+3*get(1))
fd32=length*(60/17.88)*(1+0.25*((volau+ul1)/ul2)^3)
fd33=length*(60/26.79)*(2+sqrt(9*(1-put((volau+ul1)/ul2))^2+1.56)-4.25+3*get(1))
fd34=length*(60/62.5)*(2+sqrt(36*(1-put((volau+ul1)/ul2))^2+1.21)-7.1+6*get(1))
fd35=length*(60/53.57)*(2+sqrt(25*(1-put((volau+ul1)/ul2))^2+1.277)-6.13+5*get(1))
fp3=0.6

```

volau: volumen de autos estimados por el modelo

length: longitud del enlace (vía a donde se aplica la función)

Tabla 4.2. Funciones volumen – demora calibradas para periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas)

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

4.3 CALIBRACIÓN DE LA OFERTA DE TRANSPORTE PRIVADO

Esta parte está relacionada con los volúmenes de autos y, como se adelantó, se realiza de manera simultánea con las calibraciones de los tiempos y de las funciones volumen – demora. La variable *volumen de auto* era uno de los “tornillos” para hallar mejores estimaciones de tiempo. Estos valores tenían como referencia a aquellos hallados en los aforos vehiculares que se presentan en el Anexo 3.

Con cada iteración se llega a un mejor factor de correlación R^2 como se muestra en los Gráficos 4.10 y 4.11. En este caso a la cuarta iteración ya se contaba con un ajuste preciso.

Al culminar se tiene calibrado la oferta y demanda en transporte privado. Los dos productos más importantes de los procesos realizados son la matriz de demanda de viajes calibrada y el volumen de demanda en los enlaces. La Tabla 4.3. muestra la matriz de viajes en transporte privado y el Gráfico 4.12 muestra la red cargada con su demanda respectiva. Un acercamiento a ésta última se puede apreciar en el Gráfico 4.13 donde se nota con más detalle el resultado en algunas vías de la red.

Otros resultados de igual importancia vinculados al transporte privado, se presentan en la siguiente tabla.

Variable	Año base 2001
Tiempo medio de viaje (min.)	25.19
Longitud media de viaje (Km.)	9.77
Viajes (por número de autos)	237 850
Tasa de ocupación (persona/auto)	1.71
Viajes (por número de personas)	406 724

Tabla 4.4. Resultados relevantes correspondientes a la matriz de viajes en transporte privado en periodo punta de la mañana.

Fuente: Manual de Calibración Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo. AATE

		DESTINO																	ORIGEN
		ms1	ms2	ms3	ms4	ms5	ms6	ms7	ms8	ms9	ms10	ms11	ms12	ms13	ms14	ms15	ms16	ms17	
ORIGEN	ms1	5 011	1 536	1 776	112	72	359	856	16	9	29	164	2	3 017	318	6	1	710	13 993
	ms2	488	1 028	3 034	544	742	949	2 493	51	28	66	202	3	2 213	382	17	4	34	12 278
	ms3	949	800	4 434	1 371	1 769	2 695	6 472	290	173	312	812	14	3 686	1 743	83	18	69	25 693
	ms4	213	577	2 594	432	1 407	1 103	2 594	352	276	37	176	1	1 572	597	31	22	27	12 011
	ms5	62	490	2 589	1 091	4 655	2 362	2 321	950	721	122	73	1	790	34	202	142	5	16 612
	ms6	218	529	3 200	1 271	1 504	1 551	3 824	329	185	202	322	2	1 676	793	172	69	35	15 883
	ms7	253	969	8 698	1 825	3 082	4 313	7 937	1 217	912	880	899	14	2 705	1 709	374	112	83	35 982
	ms8	12	78	939	685	1 934	1 229	2 358	797	1 523	259	164	3	130	59	80	183	3	10 436
	ms9	13	29	895	725	1 094	947	2 231	1 743	6 476	345	219	3	150	72	189	735	3	15 869
	ms10	28	86	1 182	297	192	493	3 203	286	228	3 233	476	22	362	212	37	14	8	10 358
	ms11	117	235	1 982	316	129	789	3 051	118	89	353	3 671	102	1 205	1 235	19	5	50	13 467
	ms12	2	5	31	8	3	8	65	4	3	19	146	0	34	37	1	0	1	368
	ms13	2 436	2 753	8 378	1 263	958	2 832	6 137	125	83	255	1 136	23	8 256	2 261	55	7	146	37 102
	ms14	300	591	2 528	532	30	1 297	1 622	34	24	96	1 381	15	2 908	826	5	1	61	12 250
	ms15	6	11	51	12	171	80	131	161	160	65	28	1	64	13	46	402	1	1 403
	ms16	0	3	49	7	86	49	117	112	402	17	11	0	8	3	265	428	0	1 557
	ms17	729	111	145	21	10	47	107	2	1	5	71	1	217	78	1	0	1 044	2 589
DESTINO	10 836	9 830	42 506	10 512	17 837	21 103	45 519	6 587	11 294	6 296	9 954	206	28 995	10 371	1 582	2 143	2 279	237 850	

Donde: ms1: San Juan de Miraflores, V. El Salvador, V. María del Triunfo
ms2: Barranco, Chorrillos
ms3: Lince, Miraflores, San Isidro, Surquillo
ms4: Magdalena, San Miguel
ms5: Callao, Bellavista, La Perla
ms6: Breña, Jesús María, Pueblo Libre, C.de la Legua
ms7: Lima Cercado, La Victoria, Rímac
ms8: Independencia, San Martín de Porres
ms9: Carabayllo, Comas, Los Olivos

ms10: San Juan de Lurigancho
ms11: Ate Vitarte, Chaclacayo, El Agustino, Santa Anita
ms12: Lurigancho (Chosica)
ms13: San Borja, San Luis, Santiago de Surco
ms14: Cieneguilla, La Molina
ms15: Ventanilla
ms16: Ancón-Santa Rosa, Puente Piedra
ms17: Lurín, Pucusana, Pta. Hermosa, Pta. Negra, San Bartolo, Sta. María

Tabla 4.3. Matriz de viaje en transporte privado en Lima para el periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas)
Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

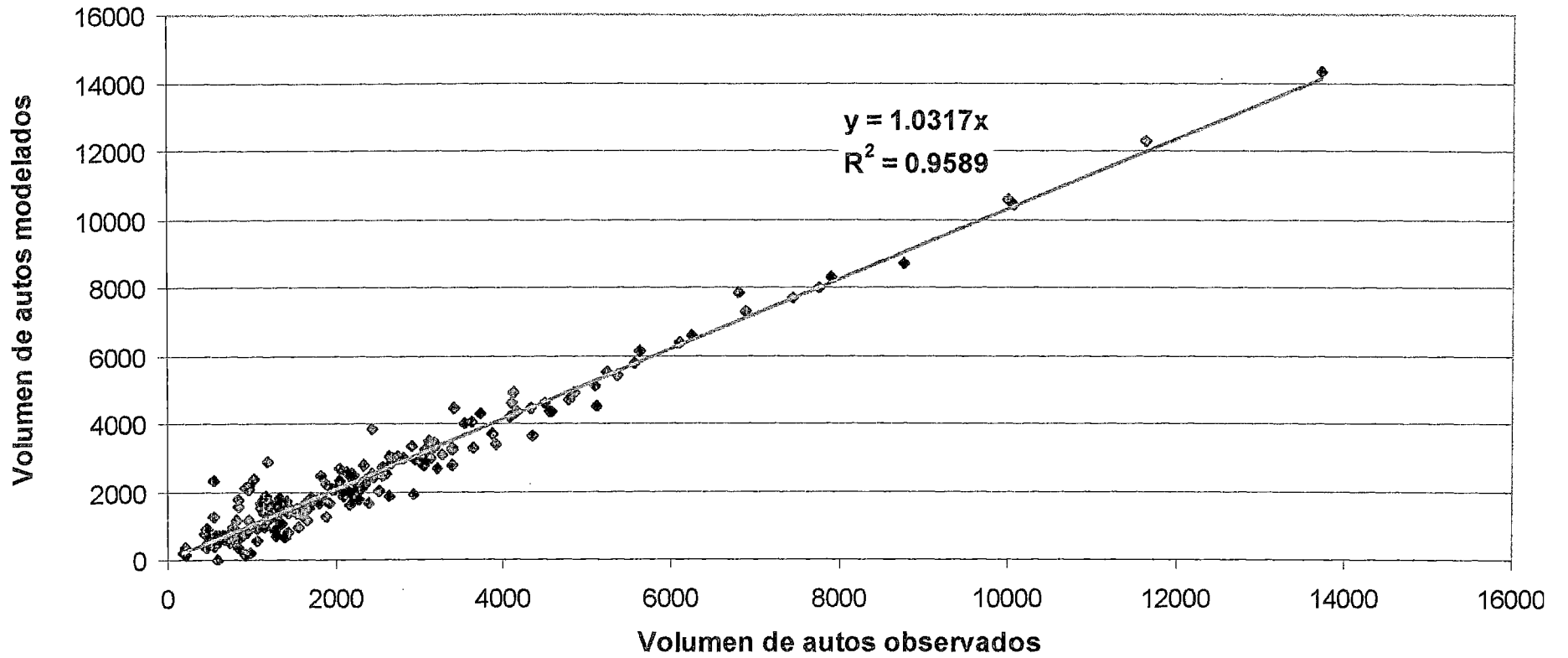


Gráfico 4.10. Correlación de volúmenes de autos observados y modelados. Primera iteración.

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE

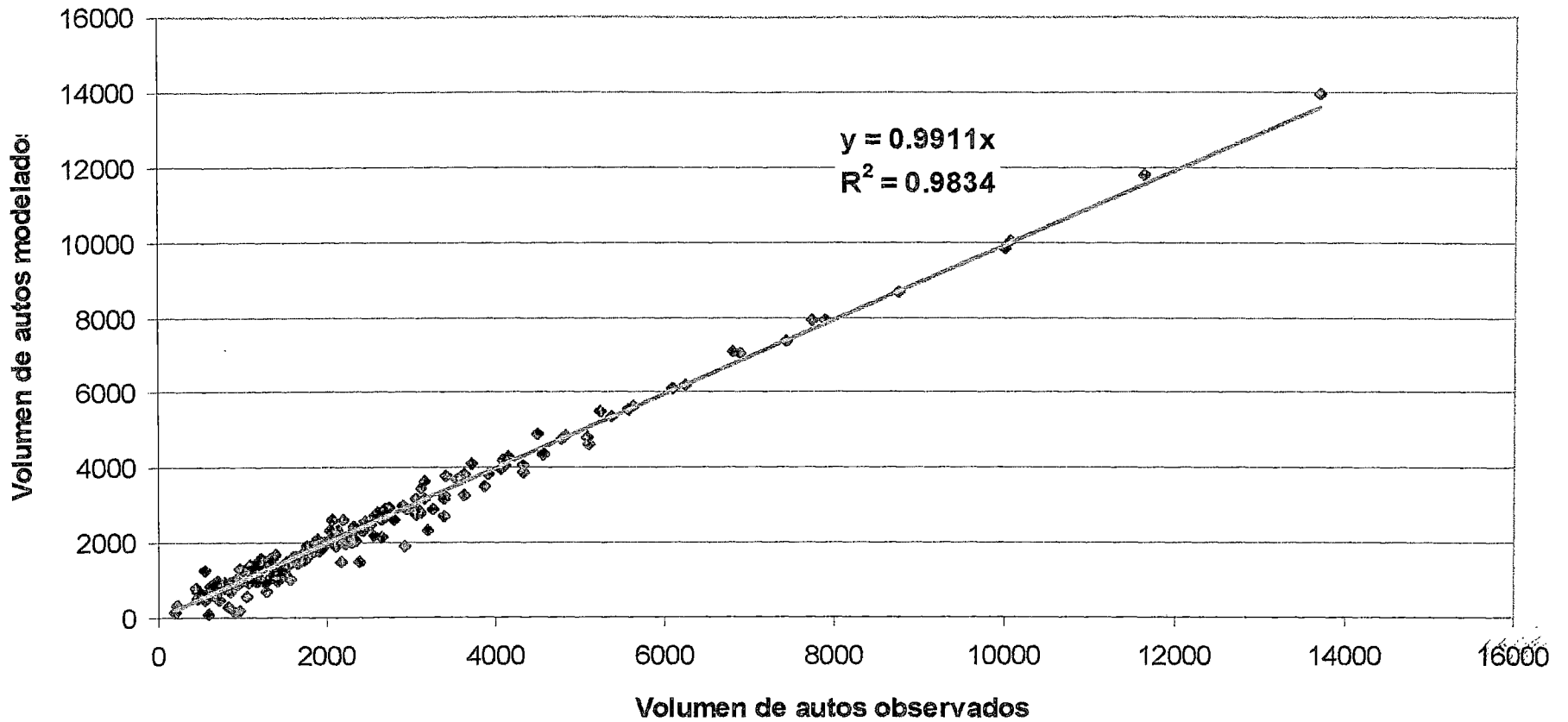


Gráfico 4.11. Correlación de volúmenes de autos observados y modelados. Cuarta iteración.

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.



Ver detalle en el Gráfico 4.13

Gráfico 4.12. Red de modelación de transporte de Lima con demanda asignada en transporte privado y en periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas). El grosor de las líneas de demanda (en rojo) muestran de forma visual el nivel de demanda que soportan algunas vías de la red.

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

4.4. CALIBRACIÓN DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE PÚBLICO

La demanda de transporte público es el aspecto más importante en un modelo de transporte para una ciudad como Lima, donde aproximadamente el 80% de los viajes que se desarrollan hacen uso de este modo de transporte. Esto quiere decir que de cada 100 viajes, 80 se realizan en los distintos tipos de unidades que prestan servicio público; de ahí su vital importancia y su mayor preponderancia en un modelo.

Los objetivos primordiales de esta parte es obtener la matriz de viajes en transporte público calibrada al año base 2001 y la distribución de la demanda sobre la red. Ambos se obtienen luego de diversos ajustes a la matriz existente del Estudio de 1998 y su asignación a la red creada para este modelo.

Un aspecto importante de las matrices de este modo es que a través de ellas se obtiene los viajes de pasajeros, no de vehículos como en el transporte privado. La razón de esta forma de análisis es porque el número de pasajeros que utilizan los autos no es tan variable, por lo que es más fácil obtener un promedio de ellos, el cual es la tasa de ocupación. Eso no ocurre con el modo público, donde obtener una tasa de ocupación, es decir número de pasajeros por vehículo, sería difícil. Además está el detalle que en este modo es más primordial hallar el número de usuarios en las diferentes zonas de tránsito y vías de la red porque de esa manera se puede realizar políticas de planeamiento para el gran grueso de la población que se moviliza utilizando – en nuestro caso – omnibuses, microbuses y camionetas rurales.

Son dos los aspectos que diferencian a la matriz de este modo de transporte: primero, que ésta es analizada por motivos de viaje (trabajo, estudio, etc.) debido a la magnitud de viajes que representa; y segundo, el método de asignación es diferente y más complicado. En lo demás, el concepto es similar al modo privado, solo que aplicando metodologías diferentes.

Es un error común pensar que debido a que se analizan estos modos por separado no se está realizando un análisis que esté de acuerdo a la realidad. Por ejemplo, cuando se analizaba el concepto de congestión que se utiliza en el método de Wardrop, decíamos que esto se aplicaba solo al transporte privado y nos preguntábamos si la congestión no afecta también al modo público. La realidad nos demuestra que sí, pero para efectos de la modelación la congestión en transporte público solo existe como una consecuencia de la congestión del transporte privado. Adicionalmente, para desvirtuar aquella suposición, está el hecho que para realizar esta fase se necesita indefectiblemente los resultados de todos los procesos anteriores, como por ejemplo en un punto tan importante como el tiempo de viaje.

4.4.1 Relación entre los tiempos de transporte público y privado

El tiempo de viaje es el factor de decisión más importante en usuarios de transporte público y por lo tanto en la modelación. El tiempo de viaje en transporte público no sólo considera el tiempo de viaje en el vehículo, sino también el tiempo de espera, el tiempo de caminata y el de transbordo. Por tal motivo es más complejo que su par en transporte privado.

El tiempo de viaje que el modelo estima es hallado mediante funciones de tiempo y existe dos formas hacerlo: en función de las velocidades constantes en tramos especiales, ó relacionar la velocidad y el tiempo en *función de la velocidad y el tiempo en auto*.

Las velocidades constantes consideradas en tramos especiales son aplicadas a las vías segregadas o carriles exclusivos para transporte público como las avenidas Brasil o Tomás Marsano y el carril central de la Vía Expresa. Al ser las velocidades constantes, el tiempo de viaje es sencillo de calcular.

Los tiempos en transporte público en función de los hallados en transporte privado (durante la calibración de la demanda de este modo) se consideran para vías con tráfico mixto, es decir donde ambos modos de transporte comparten la vía. Estas vías son las más comunes en nuestra ciudad lo que

implica una mayor cantidad de este tipo de funciones. De forma esquemática la relación entre ambos modos se representa de esta manera:

$$\text{Tiempo}_{\text{modelado_p\u00fablico}} = \text{Tiempo}_{\text{modelado_privado}} \times \text{funci\u00f3n} \quad \dots \quad \text{Ecuaci\u00f3n 4.4}$$

La *funci\u00f3n* que liga ambos s\u00f3lo se puede hallar mediante datos de campo, porque as\u00ed se est\u00e1 representando la realidad. Estos datos se obtuvieron de un estudio de tiempos de viaje y la correlaci\u00f3n entre los modos se muestra en el Gr\u00e1fico 4.14.

Se realizaron tres tipos de ajuste para escoger la que mejor representaba la tendencia de la realidad. De acuerdo a esto, en una primera instancia se escogi\u00f3 la funci\u00f3n potencial porque era la que mejor coeficiente de correlaci\u00f3n presentaba ($R^2=0.8529$). Sin embargo, luego de un mayor an\u00e1lisis se not\u00f3 que esta funci\u00f3n sobreestimaba los valores a partir de los 7 minutos, y que la funci\u00f3n exponencial subestimaba los mismos, como se muestra en el Gr\u00e1fico 4.15. Finalmente se concluy\u00f3 que la funci\u00f3n lineal era la que mejor representaba la relaci\u00f3n entre tiempos de viaje.

Una vez hallada la funci\u00f3n, se procede a calcular los tiempos de viaje, los que ser\u00e1n denominados *Tiempos modelados* y ser\u00e1n ajustados con los *Tiempos observados* en el *proceso* de calibraci\u00f3n que se desarrollar\u00e1 en el \u00edtem 4.4.4.4.

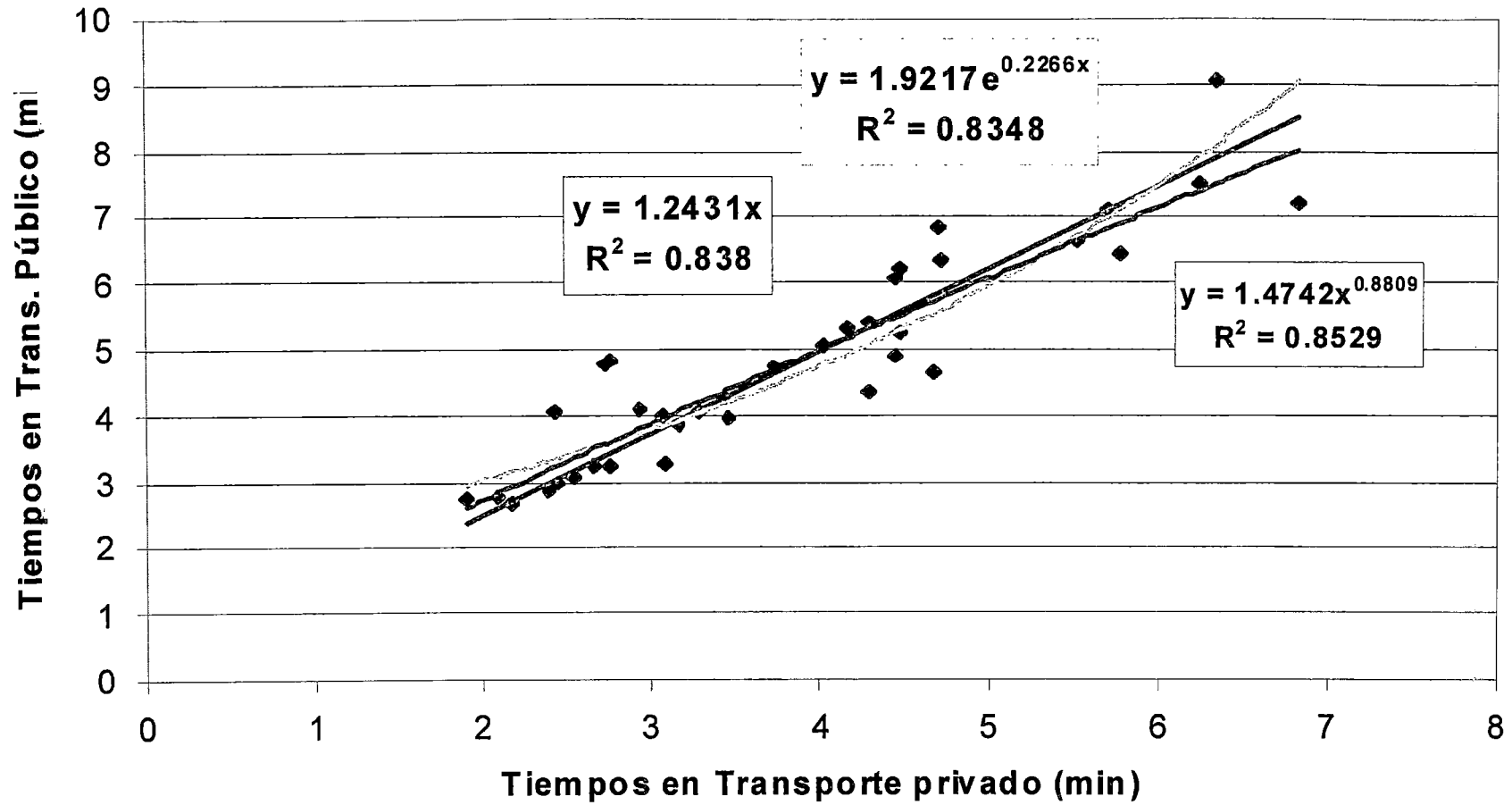


Gráfico 4.14. Relación de tiempos de viaje en transporte público y privado.

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE

Relación entre tiempos observados entre T.Público y T.Privado

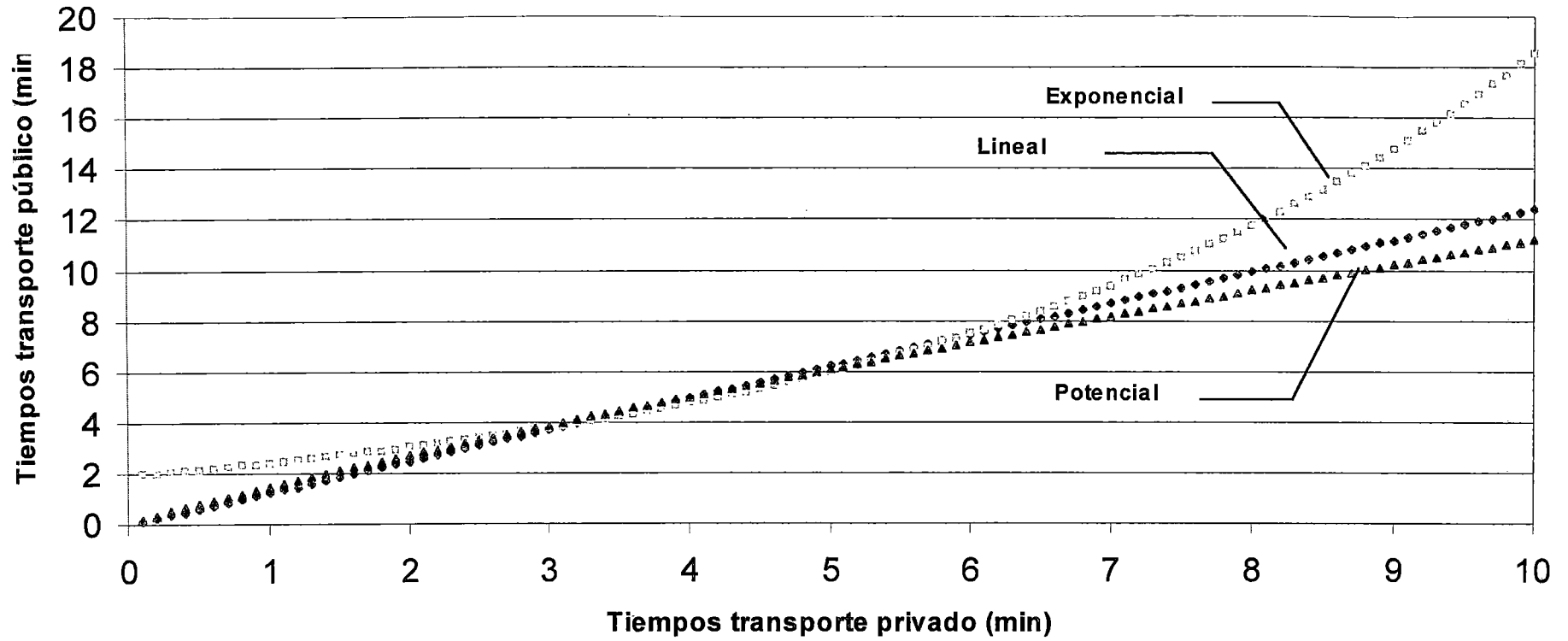


Gráfico 4.15 Comparación entre tendencias de la relación tiempos de viaje
Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE

4.4.2 Ajuste de la matriz por producción y atracción

Como se había adelantado, la matriz de viajes en este modo se calibra por motivo de viaje, los cuales son: trabajo, estudio, compras y otros motivos. Este último incluye todos los restantes que no se identifican con los tres primeros pero que fueron declarados por los usuarios en la encuesta Origen – Destino.

Normalmente en este tipo de análisis cada motivo de viaje representa una matriz, por lo que en nuestro caso se tiene cuatro de ellas, las cuales fueron desarrolladas en el Estudio de 1998. Estas matrices de viaje se hallaron a partir de vectores de generación (de origen y destino obtenidos en la fase de Generación de viajes) que a su vez dependen de variables socioeconómicas. Las variables que se utilizaron son la población, el número de empleos, el ingreso y el número de matrículas, todas ellas por cada zona de tránsito. Como desde 1998 han existido variaciones en el ambiente social y económico de Lima, las matrices de viajes también han sufrido cambios. Es por tal motivo que es necesario el ajuste de matriz.

Este ajuste se realiza mediante vectores de ajuste por producción y atracción de viajes. Como las matrices provienen de aquellos vectores entonces modificarlos a ellos implica modificar cada una de las celdas. Por ejemplo la matriz m_1 del Gráfico 4.16 tiene su respectivo vector de producción v_1 y atracción v_2 , los cuales son la suma de filas y columnas respectivamente.

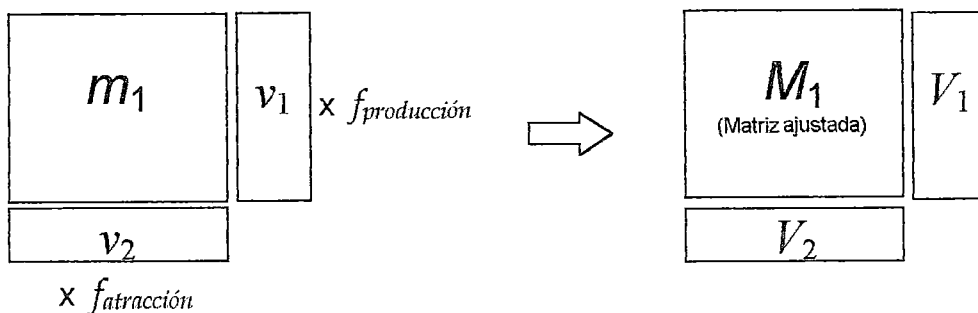


Gráfico 4.16 Ajuste de matriz mediante vectores de atracción y producción
Fuente: Elaboración propia

Si mediante vectores de ajuste $f_{atracción}$ y $f_{producción}$ se multiplicaran a cada uno de los vectores, los nuevos resultantes V_1 y V_2 serán actualizados al año deseado y la matriz se modificará porque los valores de sus celdas tienen que sumar los nuevos valores de los vectores. Eso es básicamente lo que se desarrolla en esta etapa.

Entonces, lo que resta es hallar los vectores de ajuste. Estos se obtienen del cociente entre los viajes totales (producidos o atraídos) del año base 2001 y los viajes totales (producidos o atraídos) del año 1998 para cada zona de tránsito. Pero previamente, los viajes del año 2001 se estiman en función de las variables socioeconómicas correspondientes. Esto último se muestra en los Gráficos 4.17 a 4.20.

Al final de esta etapa se logra obtener las matrices de demanda por motivo de viaje actualizadas al año base 2001.

4.4.3 Calibración de la distribución

Al final de la etapa anterior se cuenta con cuatro matrices calibradas por origen y por destino. Estas representan los viajes de los usuarios por motivo de viaje. El proceso de calibración de esta parte es similar a lo realizado en transporte privado, es decir calibrar la matriz mediante aforos en las líneas cortina y un Diagrama de frecuencia de viajes. Pero el detalle está que en los aforos, ahora, se compara el volumen de pasajeros, a diferencia de volumen de autos en el anterior.

Un aspecto común a ambos es que la calibración se realiza a la matriz general que es la suma de las mismas por motivo, que en nuestro caso son cuatro de ellas. Recordar que estas matrices ya fueron distribuidas en el Estudio de 1998 y lo que se hace ahora es actualizarlas.

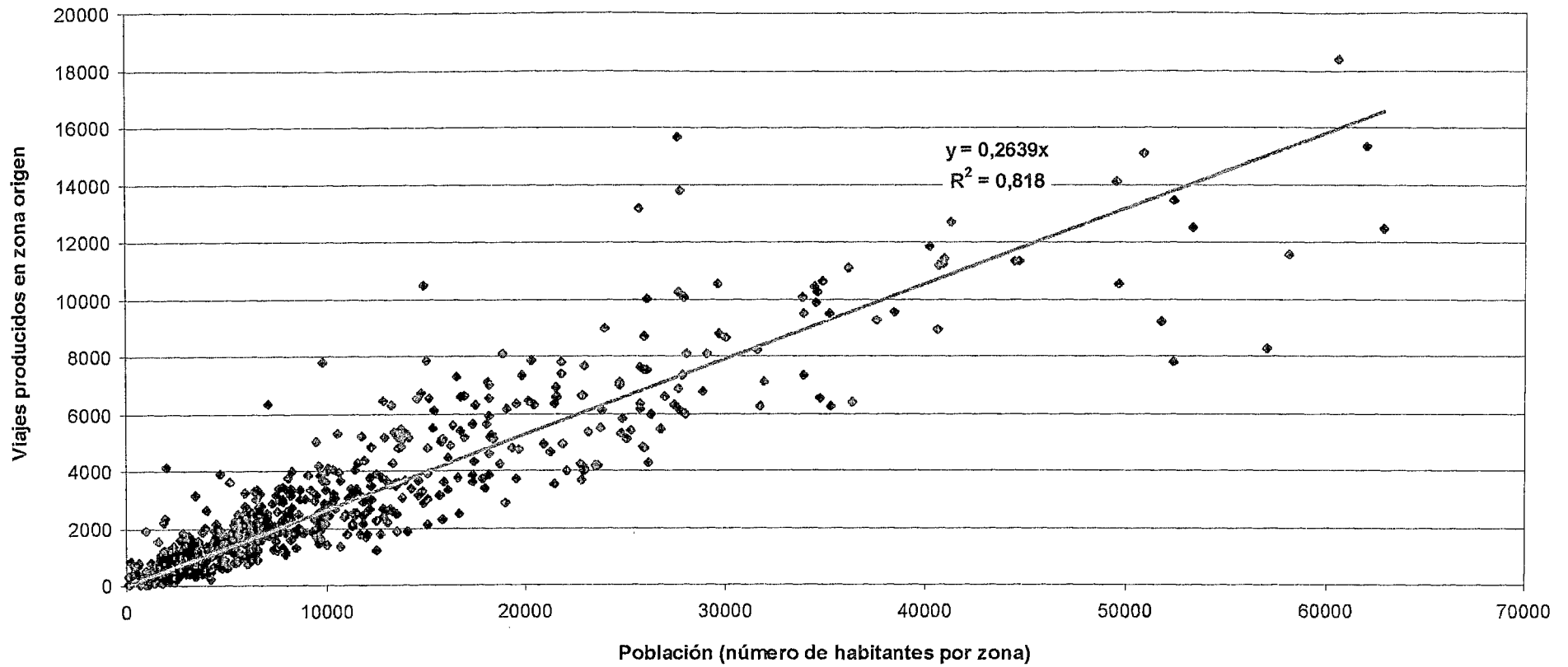


Gráfico 4.17 Correlación entre Viajes producidos y variable Población por zona de tránsito.

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

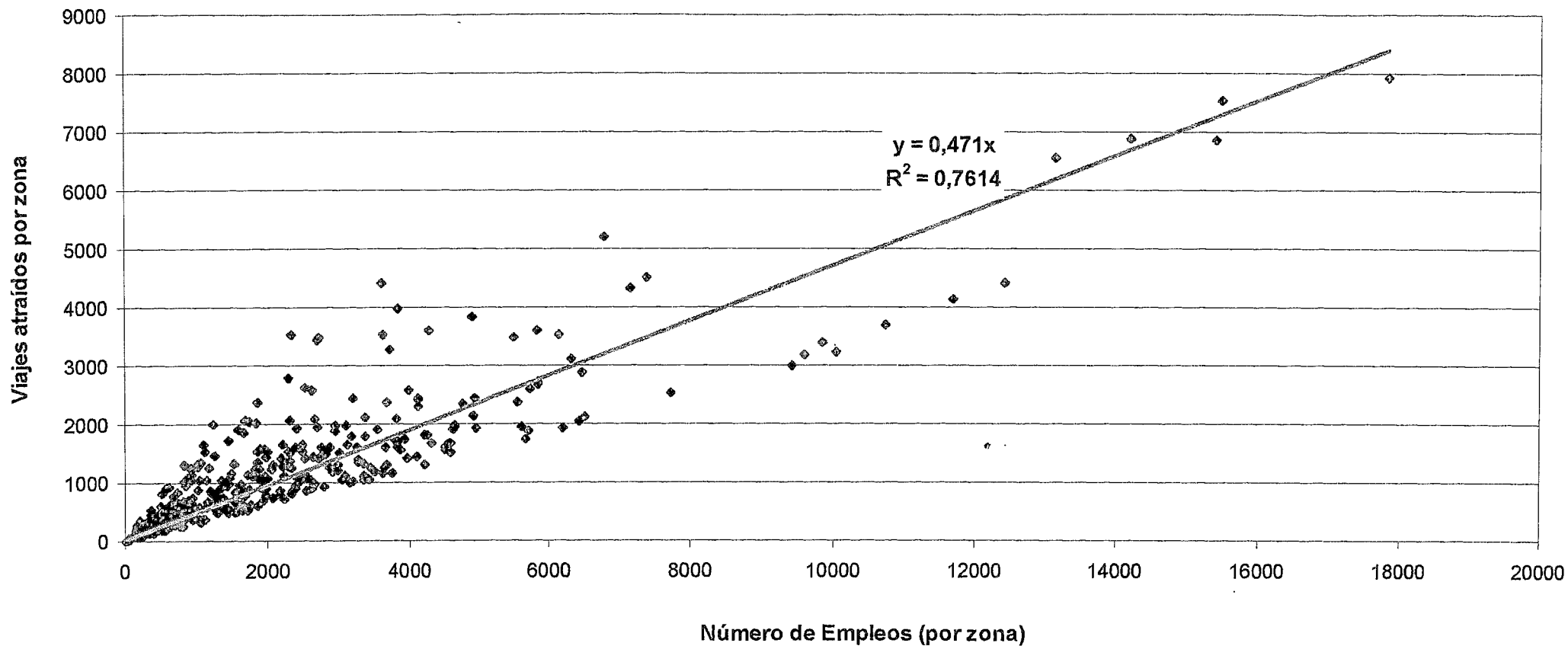


Gráfico 4.18 Correlación entre Viajes atraídos por motivo Trabajo y variable Empleo por zona de tránsito.

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

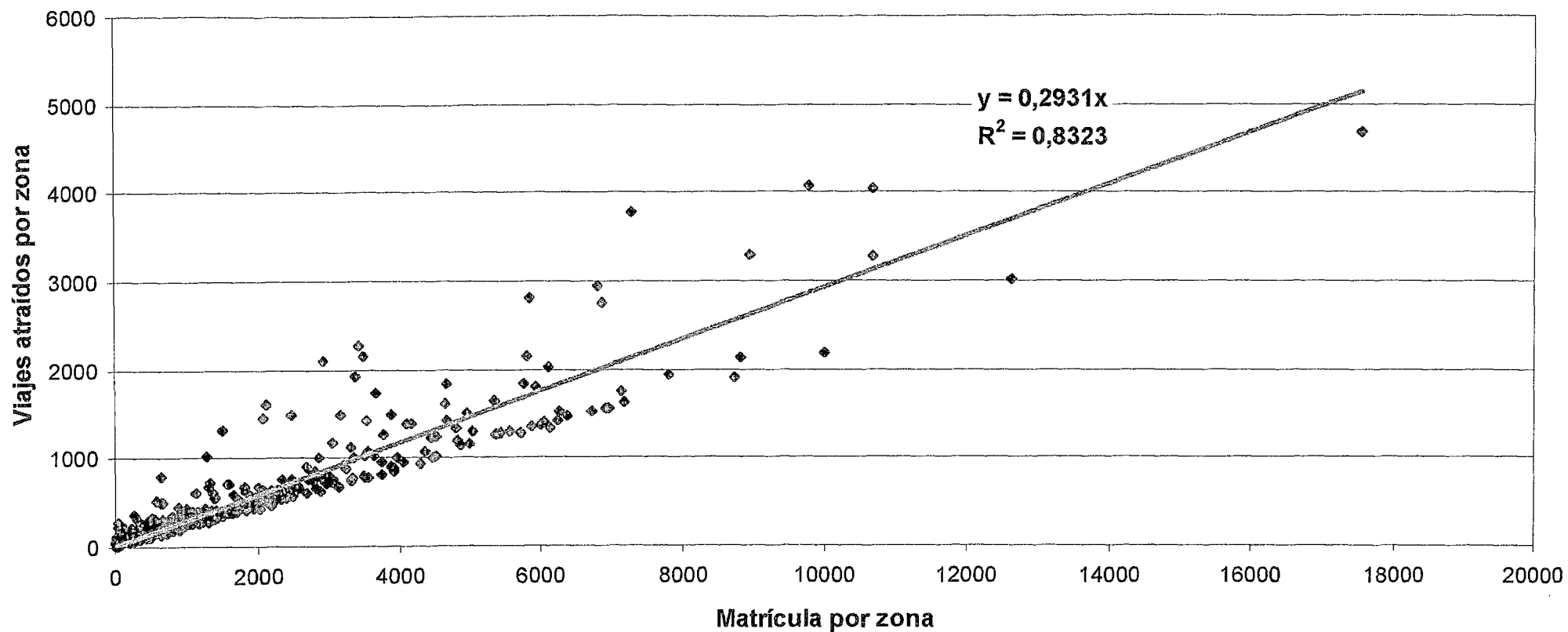


Gráfico 4.19 Correlación entre Viajes atraídos por motivo Estudio y variable Matrículas por zona de tránsito.

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

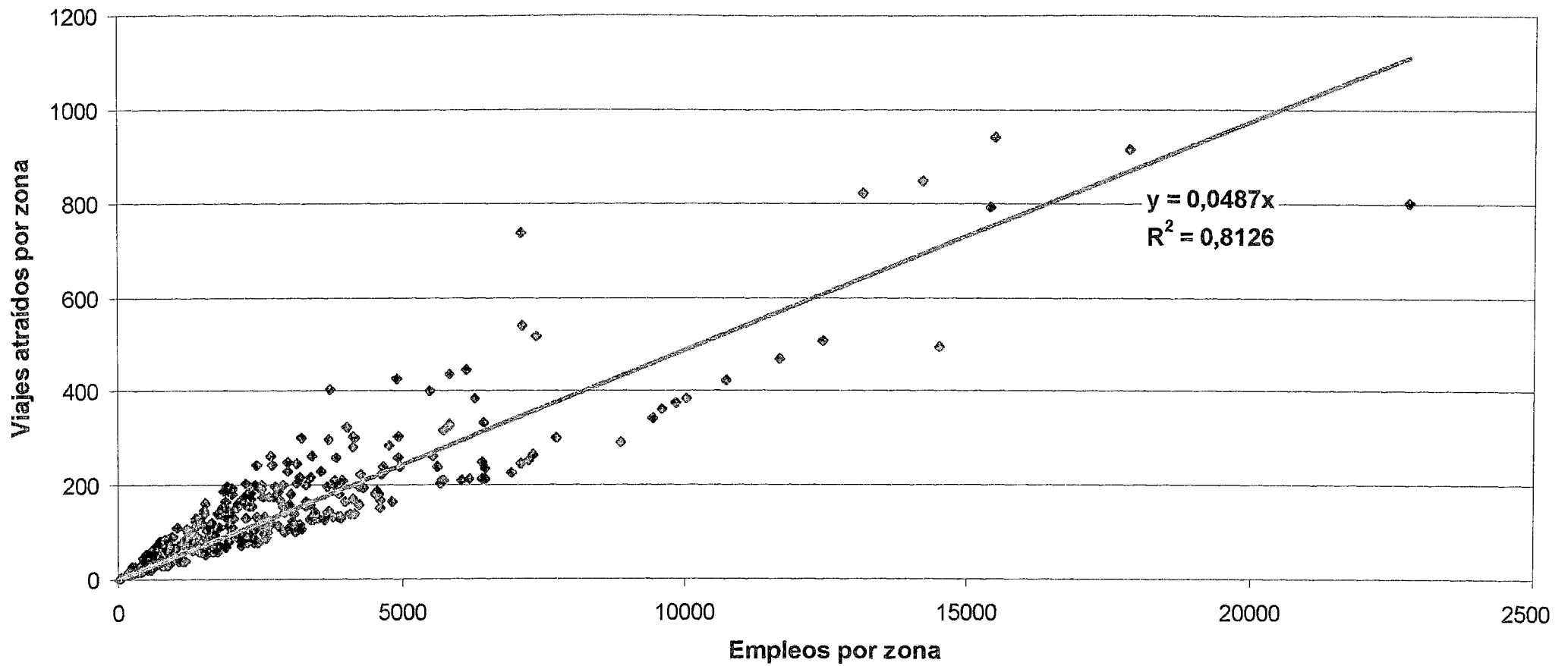


Gráfico 4.20 Correlación entre Viajes atraídos por motivo Compras y variable Empleos por zona de tránsito.

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

Una pregunta frecuente es porque no se calibra la distribución a las matrices por motivo. La respuesta es porque en los aforos o conteos de tráfico, que se utilizan como parámetro de comparación, no es posible separar los viajes por motivo. Es decir, cuando se realiza este tipo de aforos de pasajeros lo que se hace es contar los que cruzan la vía en las distintas unidades de transporte público, y por lo tanto es imposible, por ejemplo, preguntar a cada una de las personas de un ómnibus el motivo de su viaje. Por esta razón es que se analiza a la matriz agregada.

4.4.3.1 Ajuste por Líneas Cortina y Diagrama de frecuencias

Este ajuste es similar a su par en transporte privado. Haciendo uso de los volúmenes de pasajeros que cruzan la líneas cortina y de las frecuencias de viaje, ambos hallados en estudios de campo, se logra el objetivo.

Este paso es necesario porque al haber modificado las matrices en el paso anterior se modificaron de manera indirecta los viajes nivel macro y la distribución de los viajes. En el primer caso, por ejemplo, al actualizar las matrices se modifican los viajes entre grandes macrozonas, y por eso el ajuste por conteos sobre líneas cortina permite un ajuste preliminar sobre las grandes zonas que aquellas dividen. De forma similar en el segundo caso, porque al actualizar las matrices distribuidas también se cambian los patrones del Diagrama de Frecuencias de Viaje (DFV) original. Recordar que el diagrama DFV permite visualizar la distribución de los volúmenes de viaje por intervalos de tiempo.

El resultado del ajuste por líneas cortina se muestra en la Tabla 4.5. En ella se muestra los volúmenes de pasajeros observados y modelados para cada una de las líneas analizadas. Cada una de ellas sigue una separación física natural o artificial que separa o rodea algunas zonas importantes. Por ejemplo, la línea Rímac sigue el curso del río del mismo nombre que separa a la ciudad en dos partes; la línea Panamericana Sur sigue la dirección de esta vía; la línea Chorrillos sigue una línea imaginaria (formada por diferentes vías donde se

realizaron los conteos) que rodea al distrito; y la Línea Villa el Salvador de igual forma rodea al distrito. Este último se hizo para los fines de obtener los mejores resultados en esa zona de gran influencia para el Metro de Lima y de interés para la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico.

Línea Cortina	Pasajeros Sentido Sur a Norte		Pasajeros Sentido Norte a Sur	
	Observados	Modelados	Observados	Modelados
Rímac	110 086	121 456	272 532	301 320
Pan. Sur	89 512	95 531	26 122	23 571
Chorrillos	49 595	49 910	27 886	26 768
V. El Salvador	48 868	49 466	19 981	22 416

Tabla 4.5. Ajuste por líneas cortina

Fuente: Manual de Calibración Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo. AATE

En el Gráfico 4.21 se muestra el ajuste de las frecuencias de viaje de la matriz. En ella se puede ver el diagrama DFV original y el ajustado. Este diagrama, como comentamos, permite visualizar el número de viajes por intervalo de tiempo. Notar que en el diagrama DFV ajustado, el intervalo de 30-40 minutos es el que presenta el mayor volumen de viajes. Asimismo, vale la pena recalcar que el intervalo de tiempo representa el tiempo total de viaje, es decir que incluye tiempo de caminata, de espera, de transbordo y en el vehículo.

4.4.4 Asignación de la matriz

Hasta ahora se cuenta con la matriz de viajes calibrada previamente a nivel macro, y lo que se va a realizar en este ítem es una calibración pero a nivel micro. La matriz anterior será "cargada" (asignada) sobre la red vial para distribuir la demanda sobre las diferentes vías de la red, de una forma similar al proceso en transporte privado, pero con la gran diferencia que se utilizará la metodología de las Estrategias Óptimas y más variables de decisión. Previamente al proceso en sí de asignación, se expone tres de éstas variables.

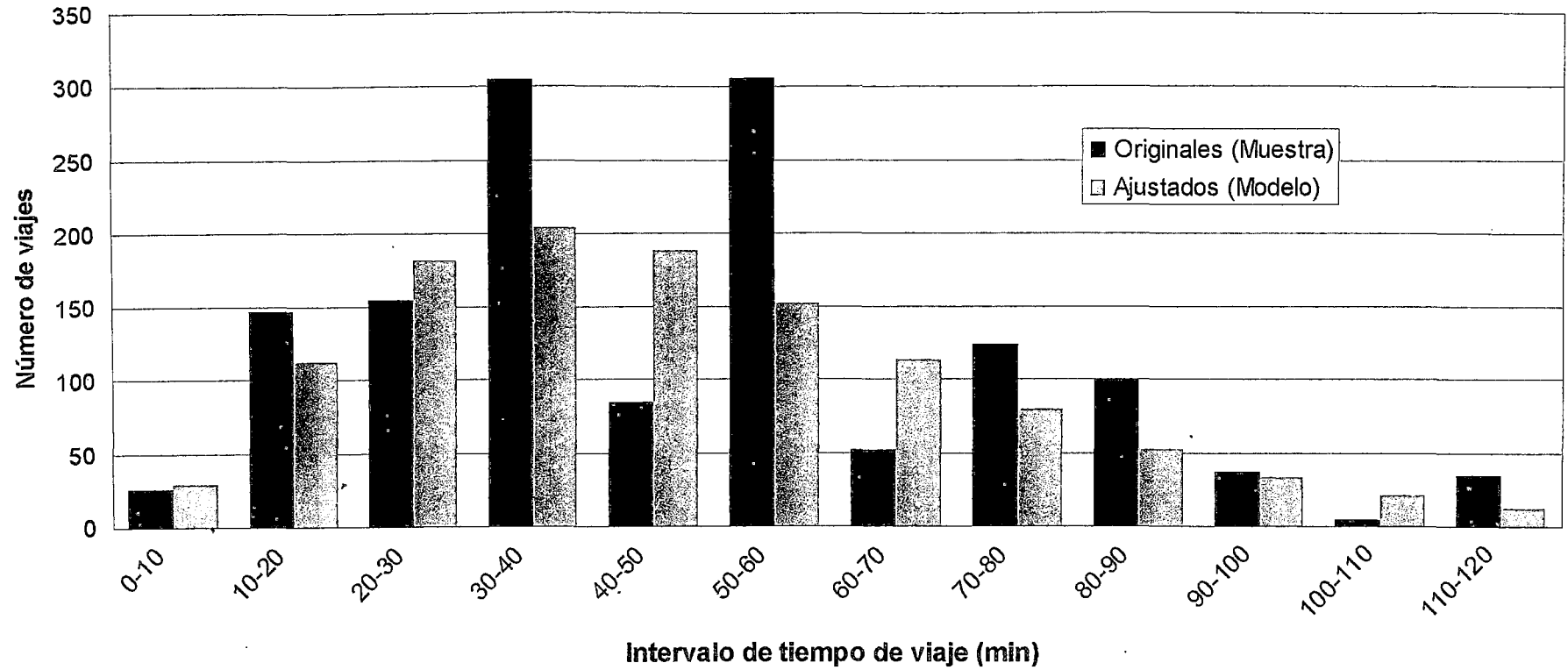


Grafico 4.21 Ajuste de Diagrama de Frecuencias de Viaje (DFV)
 Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

4.4.4.1 El valor del tiempo

El valor del tiempo, o más conocido como VOT (Value of Time), es importante en la modelación de la demanda, ya que sirve para transformar el valor monetario en valor de tiempo, o de manera más simple, transformar soles a minutos.

El VOT se encuentra a partir de una encuesta de Preferencias Declaradas donde el valor dependerá del nivel de ingreso, modo de transporte y del motivo de viaje. Por todo eso, es importante al momento de asignar la demanda sobre la red porque interviene de manera importante en el costo generalizado de viaje, el cual, como se sabe, es un factor primordial en la asignación.

Para la calibración de este modelo, los valores se obtuvieron luego de una encuesta de Preferencias Declaradas realizadas por personal de la AATE cuyos resultados están plasmados en un manual respectivo¹⁹. Los resultados se muestran en la Tabla 4.6.

Modo	Motivo	VOT (soles/minutos)
Público	Base Hogar – Trabajo	0.03
Público	Base hogar – Estudio	0.03
Público	Base Hogar – Compras	0.02
Privado	Todos los Motivos	0.04

Tabla 4.6. Resultados del Valor del Tiempo (VOT – Value of Time)

Fuente: Manual de Calibración Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo. AATE

Esta tabla puede interpretarse de forma sencilla si se toma como ejemplo el modo de transporte público, con viaje por motivo de trabajo donde el valor es 0.03 soles/minuto. Supongamos que la tarifa en rutas de transporte público es S/. 1.00, si se le aplica el factor del VOT esto equivale a 33 minutos. ($1 \div 0.03$) y esto en modelación se entiende como que una persona está dispuesta a pagar S/. 1.00 para evitar caminar 33 minutos. Y si se considera que camina a

¹⁹ Manual de Preferencias Declaradas y de Estimación de Modelos de Alternativas Discretas de la Gerencia de Desarrollo de la AATE (Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico).

4.4.4.3 La restricción de la capacidad vehicular

Cuando una persona está esperando en el paradero la llegada de una unidad de transporte público que lo lleve a su destino, puede ocurrir que la capacidad de éste haga desistir al usuario en abordarlo. Es decir, si la unidad está parcial o completamente llena de pasajeros, influye en la “atracción” de los usuarios hacia utilizar la unidad.

Esta característica de atracción puede simularse añadiendo una cantidad de tiempo a la línea de transporte que pertenece la unidad del ejemplo anterior. De esta manera cuando en el modelo se simule que un usuario desea utilizar una ruta específica, ésta puede ser “mayor” o “menor” atractiva dependiendo ya no solo del costo (tiempo) total de viaje, sino también del tiempo (similar a un factor de castigo) añadido para simular la capacidad de las unidades.

El tiempo que se aumenta es el que simula el concepto de Restricción de Capacidad utilizado en modelación de transporte público. Este valor se obtiene de una función (F) no lineal idéntica a las funciones volumen – demora BPR o cónicas que se utiliza en el tiempo de viaje. Esquemáticamente este nuevo costo se puede representar:

$$\text{Nuevo costo de viaje (minutos)} = \text{Costo total de viaje} (1 + F)$$

y donde:

$$F = f\left(\frac{\text{Pasajeros_asignados}}{\text{Capacidad_de_la_ruta}}\right)$$

Para cada tipo de vía (de acuerdo a la clasificación de la Tabla 4.1) se desarrolla su respectiva función.

Notar que en la ecuación del nuevo costo de viaje, existen dos valores que van a cambiar conforme se realice la calibración y las iteraciones: el costo total de viaje y el factor F . El primero, debido a los tiempos involucrados y sus coeficientes correspondientes explicados en el ítem previo. El segundo, porque depende del volumen de pasajeros asignados a cada una de las rutas que circulan en un determinado tipo de vía. El volumen de pasajeros asignados es el valor que se calibra en la matriz, por lo tanto con cada iteración cambia hasta llegar a un valor constante de equilibrio.

4.4.4.4 Asignación y calibración de tiempos de viaje

Los tres aspectos presentados previamente sirvieron para dar una idea de las muchas variables que intervienen en esta parte. Así como en transporte privado, la idea principal al culminar la fase de asignación es saber la cantidad de demanda (pasajeros en este caso) que circulan por cada una de las vías de la red.

Para llevar a cabo esto, el método de asignación empleado utiliza como referente principal el costo ó tiempo de viaje total para asignar o cargar la demanda en determinadas vías; y esto trae consigo al final un reacomodo de la matriz de viajes.

Un punto importante a resaltar es que todas las restricciones vinculadas a transporte público afectan el tiempo de viaje, porque de esa manera el modelo representa el “atractivo” de cada una de ellas. Por eso a mayor tiempo de viaje en una vía, menor es su atractivo para los usuarios y menor es la cantidad de demanda (pasajeros) que el modelo le asigna.

El tiempo de viaje se halla, como se mencionó en el ítem 4.4.1, de dos formas: en función de una velocidad constante y en función del tiempo en auto. La primera es sencilla de calcular; y para la segunda se había hallado que la tendencia lineal era la adecuada para desarrollar las funciones de viaje. Por lo

tanto las funciones utilizadas en esta parte serán del tipo lineal y agrupadas para diferente tipo de vía.

Existe otro aspecto que también afecta el tiempo de viaje: las diferencias entre los vehículos. Cuando se analizó el transporte privado no se contempló diferencias entre las unidades porque sería inútil hacerlo debido a la gran cantidad de modelos. Sin embargo, en nuestro parque automotor de transporte público es posible clasificarlos en cuatro grandes tipos: ómnibus, microbús, camioneta rural y colectivo. Las dos diferencias más saltantes entre ellos son la capacidad y la velocidad, y ambas afectarán el tiempo. La primera ya se discutió en el ítem 4.4.4.3 de restricción de capacidad; y la segunda aporta a la función de tiempo factores de castigo (Tabla 4.8) para cada uno de los cuatro tipos de unidades antes mencionados.

Factor	Tipo de vehículo
1.00	Ómnibus
0.94	Microbús
0.94	Camioneta Rural
0.80	Colectivo (Vía expresa)

Tabla 4.8. Factor de velocidad por tipo de vehículo

Fuente: Manual de Calibración Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo. AATE

Todos los factores que afectan la variable tiempo han sido introducidos en la función respectiva y se procede a la calibración. Para realizarlo, se necesita comparar los valores con datos de campo que, como a lo largo de todo el trabajo, fueron hallados en el Estudio de aforos.

La calibración de tiempos de viaje se puede observar en los Gráficos 4.22 y 4.23 correspondientes a la primera y quinta iteración de tiempos de viaje, donde esta última es la correlación final. Las funciones volumen – demora calibradas se observan en la Tabla 4.9.

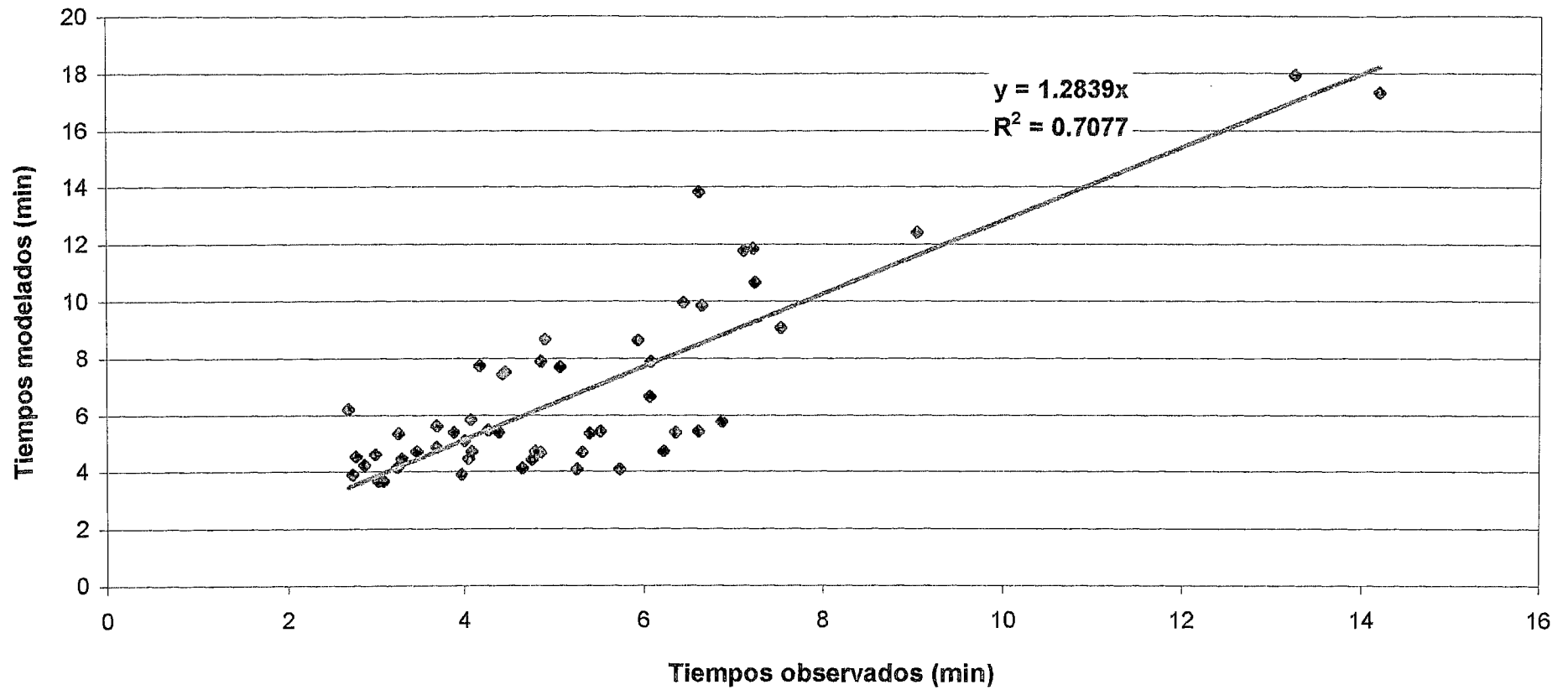


Gráfico 4.22 Primera iteración de calibración de tiempos de viaje en transporte público.

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

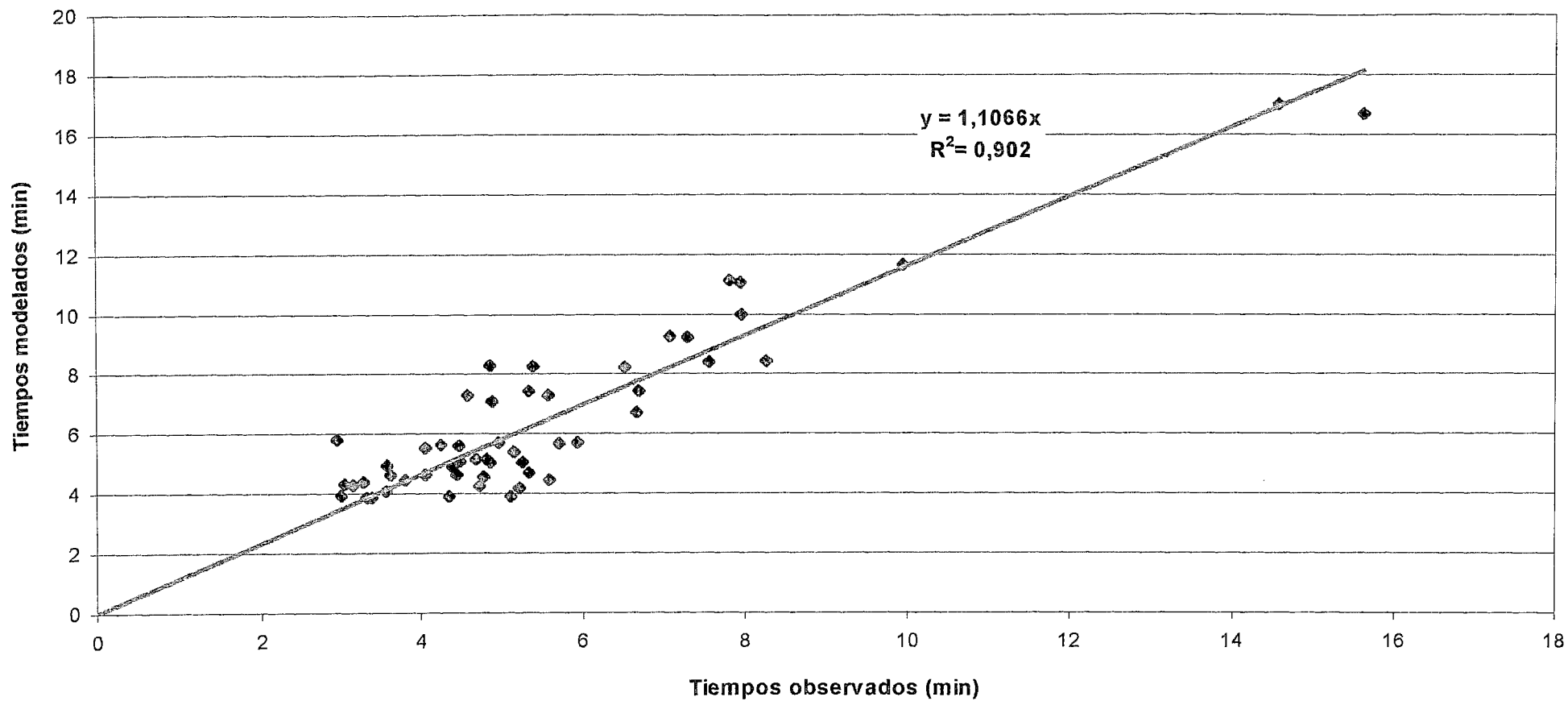


Gráfico 4.23 Quinta iteración de calibración de tiempos de viaje en transporte público.

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

Tipo de vía	Función de tiempos de viaje en TP	Multiplicado por...
2,3,13, 14,15,17,23	$(1.31 * \text{timau}).\text{max.}(\text{longitud} * 60 / 25)$ por	1.00 Omnibus 0.94 Microbus 0.94 Camioneta rural 0.80 Colectivos
Av. Tupac Amaru	$(2.04 * \text{timau}).\text{max.}(\text{longitud} * 60 / 35)$ por	1.00 Ómnibus 0.94 Microbús 0.94 Camioneta Rural
Av. Aviación	$(1.47 * \text{timau}).\text{max.}(\text{longitud} * 60 / 35)$ por	1.00 Ómnibus 0.94 Microbús 0.94 Camioneta Rural
Av. M Bastidas	$(1.31 * \text{timau}).\text{max.}(\text{longitud} * 60 / 35)$ por	1.00 Ómnibus 0.94 Microbús 0.94 Camioneta Rural
11	$\text{longitud} * 60$ por	1/14 Ómnibus 1/18 Microbús 1/19 Camioneta Rural
7,9	$\text{longitud} * 60 / 17$	Todos los vehículos
12	$\text{longitud} * 60$ por	1/24 Omnibus 1/24 Microbus 1/25 Camioneta Rural
10	Longitud*(60/25) de Sur a Norte Longitud*(60/30) de Norte a Sur	
5,21,22	$(\text{timau} / .7).\text{max.}(\text{longitud} * 60 / 40)$ Cam. Rural $(\text{timau} / 0.6).\text{max.}(\text{longitud} * 60 / 40)$ Ómnibus y Microbús	
20	$(\text{timau} / 0.60).\text{max.}(\text{longitud} * 60 / 40)$ Colectivo	

donde: timau : tiempo de viaje en auto
longitud : longitud de la vía

Tabla 4.9 Funciones de tiempo calibradas para transporte público.

Fuente: Manual de Calibración Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo. AATE

4.4.5 Calibración de la asignación

Culminado el proceso de asignación todas las vías de la red de modelación cuentan con su respectivo valor de demanda de pasajeros en función del tiempo de viaje. Cuando se realizó un análisis de los resultados se notó que en algunas zonas se presentaban valores no esperados procedentes de algunas zonas de tránsito. Por lo tanto para afinar mejor los resultados se procedió a ajustar la matriz de viajes.

Este ajuste de la matriz debe ser de tal forma que no produzca significativas variaciones en ella, y solo lo modifique aquellas celdas que lo necesiten. El procedimiento utilizado fue el Método de la Gradiente el cual se basa en conteos de tráfico para ajustar la matriz entera cambiando sólo lo necesario.

Producto de este ajuste se logra obtener una mejor correlación en los aforos de pasajeros observados y modelados en los 108 puntos observados en el estudio respectivo, como lo muestra el Gráfico 4.24. Asimismo, se obtuvieron buenas correlaciones entre valores estimados por el modelo y valores de campo para varias zonas y corredores de la ciudad. Por ejemplo, para la zona Sur, que comprende los distritos de Villa El Salvador, San Juan de Miraflores y Villa María del Triunfo, y que es de gran interés para la AATE²¹ se obtuvo el resultado del Gráfico 4.25. De igual manera, para el corredor de buses de la Avenida Paseo de La República (Vía Expresa) se obtuvo la correlación del Gráfico 4.26. En ella se observa los volúmenes de pasajeros por línea de transporte.

Al comenzar el análisis de la demanda de transporte público se dijo que los objetivos principales de esta calibración eran la obtención de la matriz de viajes de pasajeros y la red vial con sus respectivos valores de demanda. La primera de puede observar en la Tabla 4.10 y la segunda en los Gráficos 4.27 y 4.28.

²¹ Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico

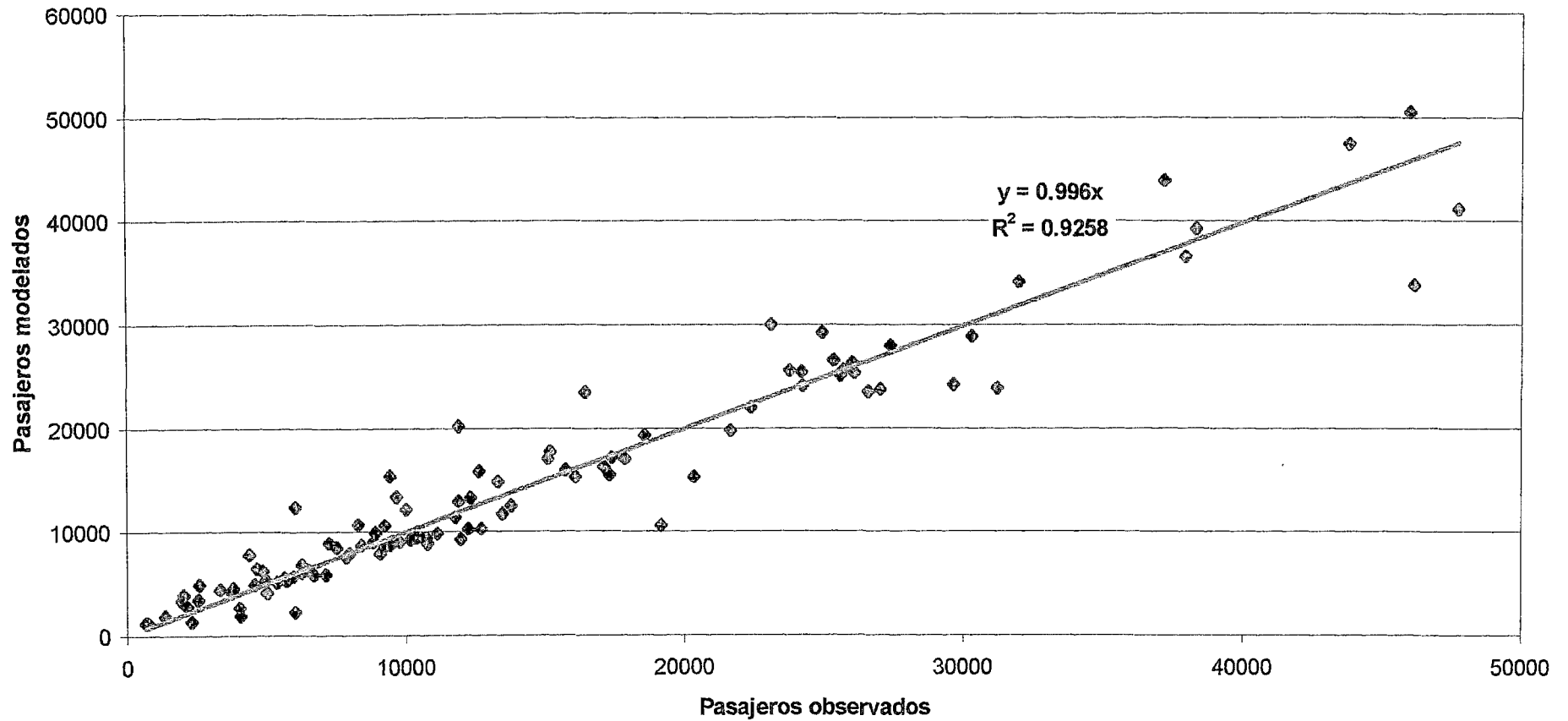


Gráfico 4.24. Calibración de volumen de pasajeros en 108 puntos de conteo en el año 2001 en periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas).

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

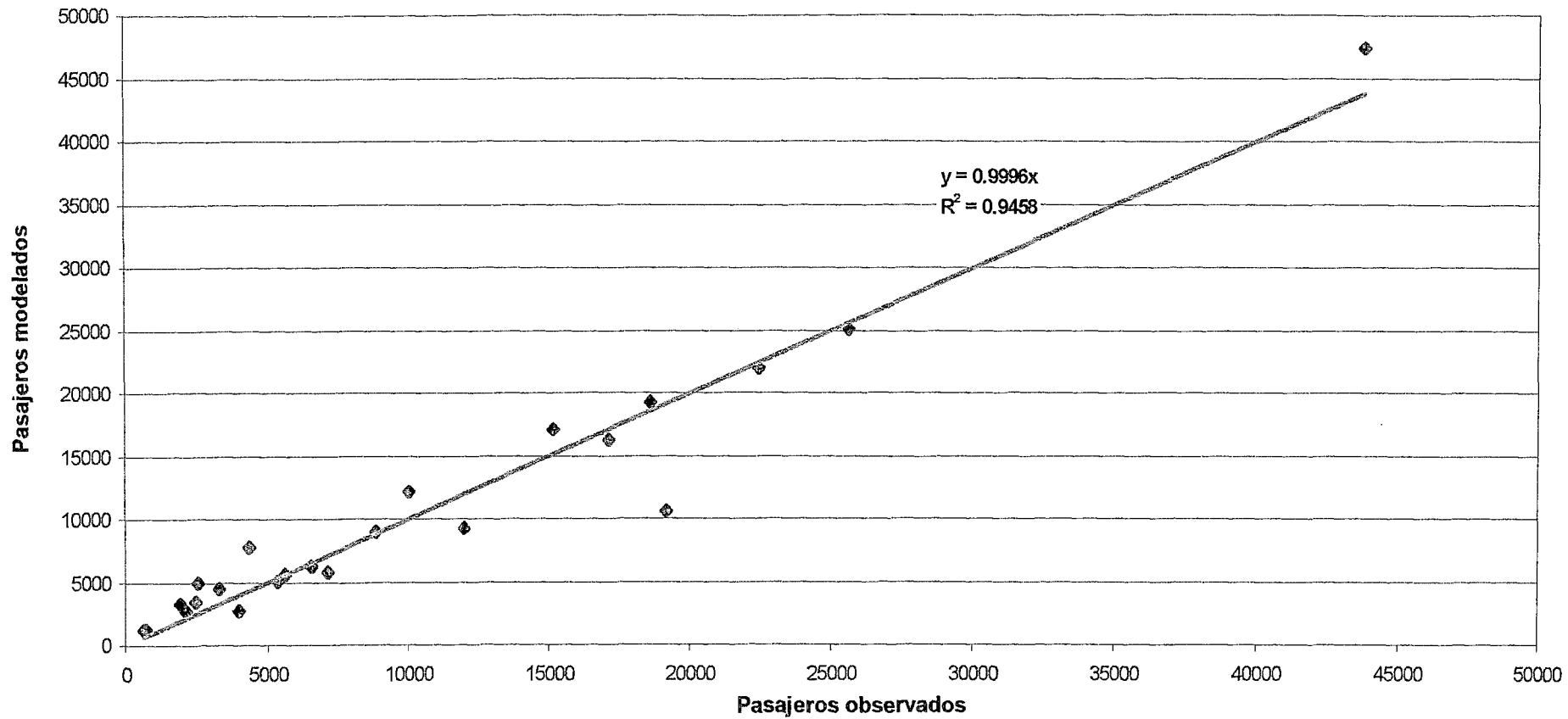


Gráfico 4.25. Calibración de volumen de pasajeros en la Zona Sur de Lima (Villa El Salvador, San Juan de Miraflores y Villa Maria del Triunfo) en periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas).

Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

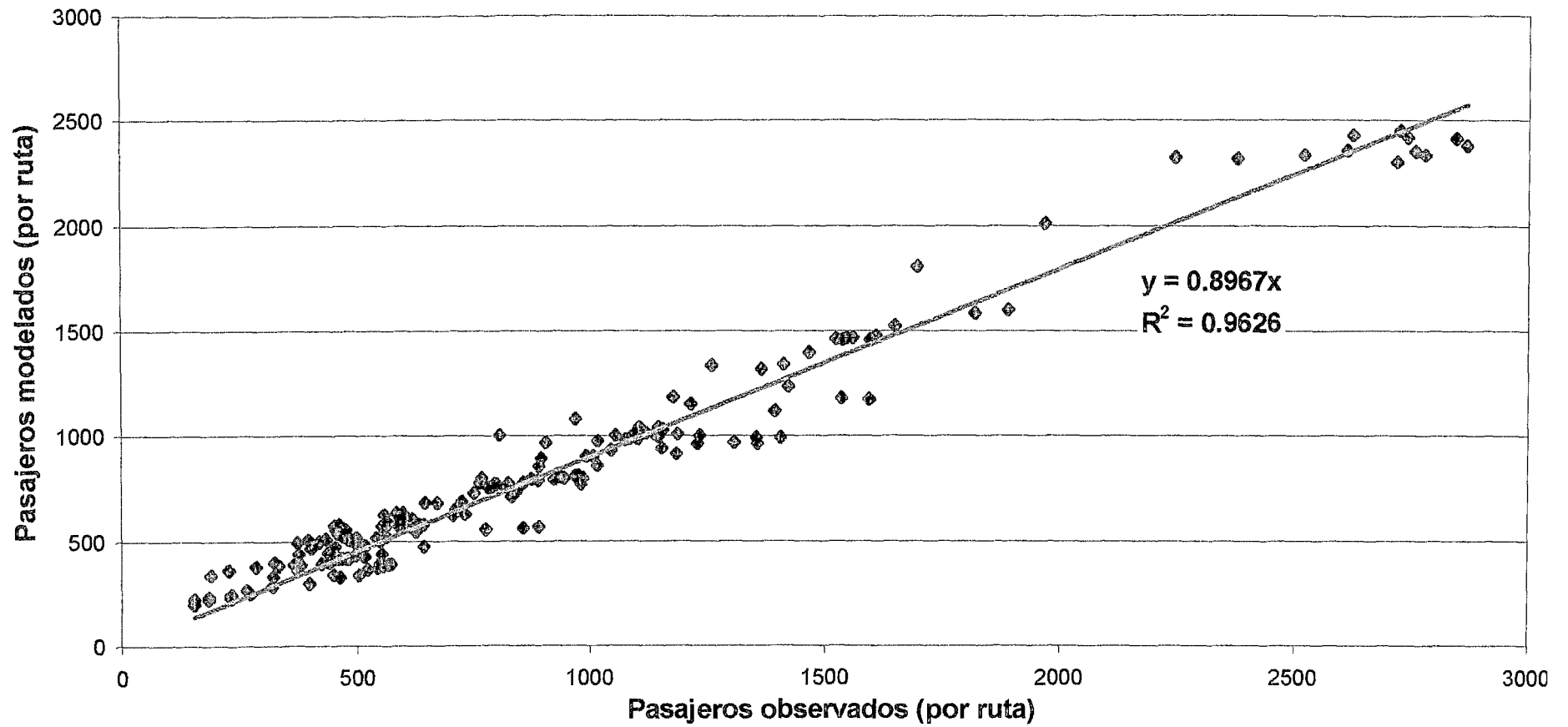


Gráfico 4.26. Calibración de volumen de pasajeros por línea de transporte en el corredor de buses de la Vía Expresa de la Av. Paseo de la República en periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas).
Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo, AATE.

		DESTINO															ORIGEN		
		ms1	ms2	ms3	ms4	ms5	ms6	ms7	ms8	ms9	ms10	ms11	ms12	ms13	Ms14	ms15		ms16	ms17
ORIGEN	ms1	64 926	11 940	17 693	1 132	3 894	1 909	13 701	1 037	2 173	1 370	7 494	126	30 432	4 796	96	241	3 829	166 791
	ms2	2 773	4 031	3 181	4 171	2 185	3 615	16 484	728	1 033	880	3 780	66	1 829	761	17	44	161	45 739
	ms3	2 517	671	5 603	3 169	6 330	5 858	18 083	1 380	1 103	2 814	6 737	273	2 731	1 027	237	56	207	58 797
	ms4	2 100	2 138	8 368	5 452	8 752	7 728	11 096	1 809	1 341	997	2 362	68	3 159	530	351	255	101	56 606
	ms5	2 503	1 870	18 855	8 665	39 551	13 714	22 861	8 221	6 633	1 265	1 728	68	3 584	317	1 635	2 685	75	134 231
	ms6	1 540	2 366	10 382	5 093	9 888	11 743	16 775	3 469	3 060	2 618	3 660	149	4 255	899	1 043	244	148	77 330
	ms7	2 622	2 853	17 578	5 230	10 068	14 886	53 310	8 785	7 318	8 399	11 565	755	10 201	3 073	548	548	332	158 070
	ms8	899	1 271	7 205	5 665	17 089	9 842	28 503	18 034	20 925	3 128	3 615	219	1 638	705	693	1 915	74	121 423
	ms9	2 748	2 606	5 067	2 913	10 774	5 810	20 739	18 562	68 423	1 704	4 155	69	1 245	437	2 201	7 363	48	154 863
	ms10	334	362	6 849	1 628	2 039	5 253	30 958	3 876	1 991	56 635	8 615	1 294	2 952	1 568	31	135	27	124 549
	ms11	3 439	3 701	29 944	1 554	3 582	6 966	36 818	2 677	1 956	7 250	23 674	1 782	17 758	10 131	59	82	154	151 525
	ms12	17	14	168	43	148	186	1 023	95	65	584	2 213	0	403	361	1	3	2	5 326
	ms13	4 492	1 104	6 591	3 040	3 401	5 864	28 369	1 099	896	2 796	13 249	438	6 494	2 531	30	43	296	80 733
	ms14	1 089	596	2 123	436	296	920	5 914	606	222	1 299	14 649	365	2 272	3 410	26	4	67	34 294
	ms15	18	4	60	520	2 746	1 541	1 339	306	827	141	285	2	29	18	549	3 870	1	12 255
	ms16	30	6	146	120	893	163	626	2 946	4 436	725	3 593	1	30	2	1 677	4 257	1	19 651
	ms17	1 460	129	71	14	14	26	354	29	55	29	278	7	109	87	1	2	401	3 065
DESTINO	93 506	35 662	139 885	48 843	121 650	96 024	306 955	73 660	122 457	92 634	111 655	5 681	89 119	30 654	9 195	21 746	5 924	1 405 250	

Donde: ms1: San Juan de Miraflores, V. El Salvador, V. María del Triunfo
ms2: Barranco, Chorrillos
ms3: Lince, Miraflores, San Isidro, Surquillo
ms4: Magdalena, San Miguel
ms5: Callao, Bellavista, La Perla
ms6: Breña, Jesús María, Pueblo Libre, C.de la Legua
ms7: Lima Cercado, La Victoria, Rímac
ms8: Independencia, San Martín de Porres
ms9: Carabayllo, Comas, Los Olivos

ms10: San Juan de Lurigancho
ms11: Ate Vitarte, Chaclacayo, El Agustino, Santa Anita
ms12: Lurigancho (Chosica)
ms13: San Borja, San Luis, Santiago de Surco
ms14: Cieneguilla, La Molina
ms15: Ventanilla
ms16: Ancón-Santa Rosa, Puente Piedra
ms17: Lurín, Pucusana, Pta. Hermosa, Pta. Negra, San Bartolo, Sta. María

Tabla 4.10 Matriz de viaje en transporte público en Lima para el periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas)
Fuente: Calibración de Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo. AATE



Ver detalle en el Gráfico 4.28

Gráfico 4.27 Red de modelación de transporte de Lima con demanda asignada en transporte público y en periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas). El grosor de las líneas de demanda (en rojo) muestran de forma visual el nivel de demanda que soportan algunas vías de la red

Fuente: Gerencia de Desarrollo. AATE

COMENTARIO DE RESULTADOS

Realizar la calibración de un modelo, es como si se tomara una “fotografía” en un momento determinado, en este caso un año base, de un sistema de transporte. Por lo tanto, esa “imagen” reflejará el comportamiento de viajes del área estudiada, a través de indicadores. Esos indicadores, son los que se comentarán en esta parte, y de los cuales se extraerán las conclusiones del presente trabajo de tesis.

En realidad, un modelo brinda mayor información sustanciosa cuando, después de calibrada, se simula escenarios futuros. De esa forma, se pronostica el comportamiento de la demanda en los próximos años. Lamentablemente, ese proceso, al término de la etapa de obtención de datos para el presente trabajo, estaba iniciándose en la Gerencia de Desarrollo de la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico (AATE), razón por la cual se optó por presentar solamente el proceso de calibración. A pesar de eso, los resultados brindados por la calibración sirven como punto de partida para que los planificadores – y las autoridades – tengan una mejor noción del comportamiento de la demanda, como se expondrá más adelante.

- **Resultados de la calibración para un día típico**

En la cuarta parte del trabajo se presentaron los resultados para el periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas), y en el Anexo 2, se hace lo mismo para el periodo punta de la tarde y la hora valle. Ahora, se expondrá los resultados expandidos para un día de 17 horas, comprendido entre las 06:00 y 23:00 horas.

Periodo	Viajes calibrados		Horas por día=17		Viajes expandidos		
	T.Público	T.Privado	Tasa de ocupación (en autos)	Factor de expansión por periodo	T. Público	T.Privado	Total
Mañana	1 405 250	237 850	1.71	1.00	1 405 250	406 724	
Tarde	1 380 118	249 540	1.62	1.25	1 725 148	505 319	
Valle	817 082	184 213	1.34	6.25	5 106 763	1 547 389	
					8 237 160	2 459 431	10 696 591
Composición modal del Modelo					77%	23%	100%
Composición modal observado					79%	21%	100%
Diferencia (Modelado - Observado)					-1.6%	1.6%	
Tasa de generación de viaje, por habitante y por modo					1.10	0.33	1.43
Población estimada de Lima y Callao al 2001 (INEI)					7 488 955		

Tabla 5.1 Demanda de viajes expandida a 17 horas.

Fuente: Manual de Calibración Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo. AATE

Un resultado importante, es que el número de viajes ha disminuido 4.7% respecto del último estudio de 1998, donde se obtuvo 11 221 540 viajes, con una similar composición modal. Esta variación obedece a cambios sociales y económicos de la misma sociedad, y sobre la cual se asienta el sistema de transporte. Otro dato relevante, es la tasa de generación de viajes, cuya variación se verá más adelante.

- **Identificación del periodo punta de la tarde**

Cuando se analizaron los aforos vehiculares y pasajeros se notó un punto interesante: el periodo punta de la tarde se había “desplazado” una hora más tarde. Durante todos los estudios previos se había considerado, en base a trabajos de campo, que dicho periodo era de 17:00 a 19:00 horas. Sin embargo, al graficar los datos de los aforos se observó que el pico de la

demanda se había retrasado (Gráfico 5.1). El nuevo periodo fue ubicado entre las 18:00 y 20:00 horas, y que sería utilizado para todo el proceso de simulación.

Se especularon muchas razones para este desplazamiento que involucraban ya no sólo aspectos netamente técnicos, sino también aquellos que incluían a la sociedad entera.

Por ejemplo, uno de los argumentos fue de tipo comportamental. En la tarde las personas ya no tienen la necesidad de llegar a tiempo a un lugar porque, en general, la mayoría está retornando a sus hogares. En el transporte público, esto conlleva a que el usuario pueda darse el “lujo”, si es que la hay, de escoger la unidad de transporte que le parezca. Si esta persona no aborda el vehículo que la llevaría a su destino hace que otras unidades, detrás de la primera, compitan por brindarle el servicio. Desde el punto de vista de las unidades de transporte, esta característica hace que los conductores permanezcan más tiempo en los paraderos para “recoger” la mayor cantidad de pasajeros posible por que existe una sobreoferta muy competitiva, aunque de pobre calidad . Por donde se lo mire, estas actitudes hacen que el sistema en su conjunto sea más lento.

Al transporte privado también le afecta esta demora, pero no por el comportamiento de viaje de aquellos que lo usan, sino por la influencia de transporte público. En las vías donde ambos modos comparten la vía y donde se presentan los mayores volúmenes de demanda, el transporte privado está condicionado al ritmo del transporte público. Y en aquellas vías existe un mayor porcentaje de autos, la situación también se presenta porque todos los conductores desean utilizar aquellas arterias para viajar en menor tiempo. El resultado: muchos queriendo hacer lo mismo, avanzan poco. Por tal razón, es que un porcentaje de usuarios de este modo de transporte prefieren “esperar” a que termine el periodo punta, y de ese modo contribuyen al retraso de ésta.

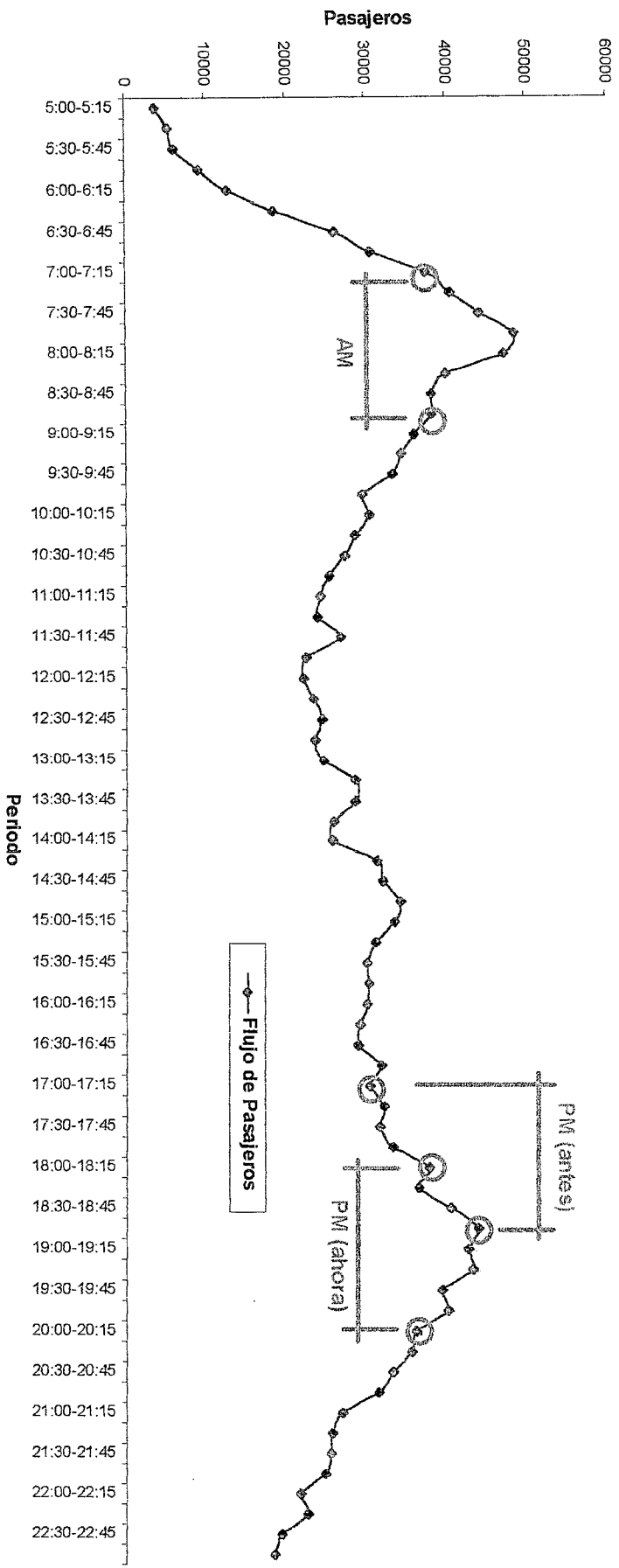


Gráfico 5.1 Diagrama de carga diaria de pasajeros (18 horas)

Fuente: Gerencia de Desarrollo. AATE

- **Variación en la tasa de generación de viajes**

Este parámetro es importante en un sistema de transporte. Ella refleja el comportamiento de viaje del sistema.

Año	Tasa de motorización de viajes		Tasa Total (viajes / persona)
	T. Público	T. Privado	
1972	1.03	0.40	1.43
1988	0.90	0.20	1.10
1998	1.20	0.30	1.50
2001	1.10	0.33	1.43

Tabla 5.2. Tasa de generación de viaje a través de los últimos 30 años
Fuente: Elaboración propia

Como se puede notar en la Tabla 5.2, la relación viajes por persona a lo largo de las tres últimas décadas han variado, de acuerdo a como cambiaba la sociedad de Lima. En la década del 70, una persona en promedio realizaba 1.43 viajes y que reflejaba la situación en que se vivía. En 1988, la tasa disminuye debido a que la situación económica cohibía a los usuarios a hacerlo, además del clima tenso en que se vivía, no sólo en Lima sino en el país entero. La relativa mejora económica que se experimentó durante la primera mitad de los 90, añadido a la desregularización del transporte y la libre importación de vehículos, hizo que las personas viajen más, hecho que se reflejó en el estudio de 1998. En la calibración del modelo del 2001, se obtuvo una tasa de 1.43, valor que refleja una disminución de los viajes en el sistema, producto de la caída económica que se experimentó a finales de la década pasada y del cese de la política de importaciones existente.

- **Bajo tiempo de caminata en transporte público**

Un punto que ya es un resultado brindado por la calibración del modelo, es el bajo tiempo de caminata en los viajes en transporte público. Para nadie es un secreto que nuestro sistema de transporte, desde años atrás, presenta una sobreoferta vehicular, por lo que los especialistas pronosticaban que iba afectar

el tiempo de caminata, y por supuesto, al coeficiente correspondiente en la función de costo. Pues bien, las estimaciones del modelo han arrojado resultados interesante al respecto. En la Tabla 5.3 se muestra los coeficientes ó pesos calibrados de la función de costo (tiempo) de viaje para el modo público. Como se recuerda, estos pesos afectan directamente al tiempo total de viaje. A mayor valor de los coeficientes, mayor influencia de sus respectivas variables en el tiempo de viaje. Asimismo, como estos coeficientes son el producto de una encuesta de Preferencias Declaradas, reflejan muy bien las preferencias de los usuarios.

Parámetro	Peso (Año 1998)	Peso (Año 2001)
Tiempo espera	1	2
Tiempo caminata	4	6
Trasbordo	7	1.3

Tabla 5.3 Pesos calibrados de algunos parámetros del costo de viaje
Fuente: Manual de Calibración Modelo de Transporte. Gerencia de Desarrollo. AATE

El hecho de que el tiempo de caminata haya disminuido, se refleja a través de su peso, el cual ha aumentado de valor en un 50% respecto al último estudio. Esto significa que la caminata “molesta” más que antes. En 1998 un usuario caminaba a ó desde un paradero una distancia determinada para abordar una línea de transporte; pero en el 2001, el mismo usuario ya no camina la misma distancia porque la sobreoferta de vehículos ha hecho que éstos circulen por vías más cerca de su origen de viaje y que antes no eran utilizadas. El resultado es un usuario que encuentra la unidad de transporte tan “accesible” que ahora considera una caminata mayor como “molesta”. Por esa razón, se camina menos.

De similar interpretación es el peso del tiempo de espera de la misma Tabla. Como existe una sobreoferta, los vehículos tienen una frecuencia mayor en sus rutas, es decir que existen más unidades por un unidad de tiempo. Esto ha llevado a que el usuario no tenga que esperar demasiado tiempo en los paraderos, y sea relativamente fácil poder abordar uno de ellos. La consecuencia en el sistema es que las personas perciben ahora con mayor

desagrado una pérdida de tiempo en los paraderos, y por eso el valor del coeficiente ha aumentado.

Se puede argumentar que en 1998 ya existía sobreoferta. Es cierto. Pero existe un factor que no es analizado con detenimiento y que escapa al plano netamente ingenieril: con los años, los usuarios se han “acostumbrado” a este sistema de transporte en la ciudad. Esto ha traído consigo que éstos sean más renuentes a aceptar un sistema donde se camine más y se espere un poco más de tiempo en los paraderos, como ocurre en la mayoría de ciudades donde existe un transporte urbano ordenado. Y este fenómeno también puede explicar el otro peso de la Tabla 5.1, el del factor de transbordo.

Como existe sobreoferta y desorden en las rutas de transporte, los usuarios caminan menos y esperan menor tiempo en los paraderos, por lo que adicionalmente con los años esos usuarios perciben menos molesto el hecho de cambiar de vehículo para llegar a su destino (es decir un transbordo) porque saben que bajando en cualquier paradero, es muy probable encontrar otra unidad en *poco tiempo* y que los lleve más cerca de su destino, haciéndole *caminar menos*.

Estos argumentos pueden ser relativos, dependiendo del momento en que ocurre el viaje. Es obvio que en los periodos punta, de la mañana y de la tarde, este fenómeno se aprecia más que en otras horas del día. Asimismo, pueden existir algunos otros factores puntuales que apoyen o alivien el fenómeno, pero lo que se explica es en función del sistema.

- **Composición modal**

Aunque estrictamente no es un resultado nuevo, la composición modal del modelo es un reflejo de nuestro sistema de transporte. La descomposición realizada en este trabajo fue transporte público y privado; y que puede ser aplicada tanto a los vehículos como pasajeros, es decir oferta y demanda respectivamente.

El gráfico 5.2 presenta un resumen de esta composición modal. Normalmente, cuando se habla de número de viajes realizados por modo, es decir *demanda*. En el caso de Lima, aproximadamente, el 79% de los viajes se realiza en transporte público y el 21% restante en transporte privado. Este primer resultado (que se ha mantenido de manera casi estable a través de todos los años) ofrece una idea de la importancia que juega el transporte público en el movimiento de las personas. Además, es una característica casi inherente de los sistemas de transporte en países en desarrollo como el nuestro.

Otra forma de ver la composición modal es a través de los vehículos, es decir la *oferta*. Para Lima, y para este modelo, el 30% de las unidades pertenecen al transporte público, 66% al transporte privado y 4% a camiones y vehículos pesados. En este tipo de resultados, se puede notar la preponderancia del modo privado.

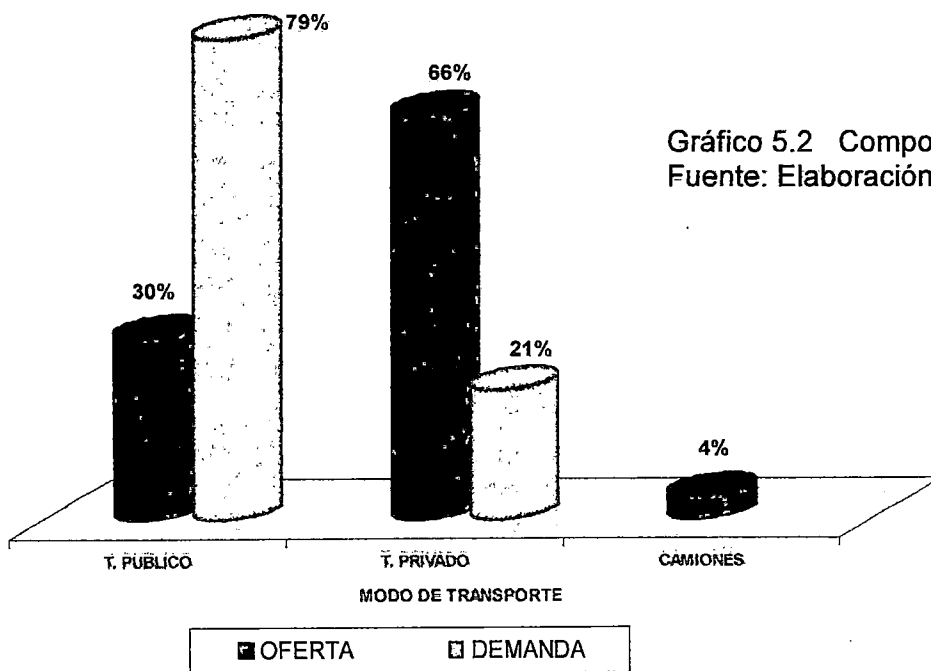


Gráfico 5.2 Composición modal
Fuente: Elaboración propia

De la gráfica, también es posible inferir que, el 79% de la demanda se moviliza en 30% de la oferta. Si comparamos la composición modal de una ciudad desarrollada como Londres con la nuestra, veremos las diferencias en el comportamiento de la demanda. En aquella ciudad inglesa, el 42% de los viajes se realiza en autos y motocicletas, 31% a pie y bicicletas, 12% en buses, 10% en Metro y 5% en trenes urbanos (London Transport, 1995). Si consideramos

que los porcentajes de buses, Metro y trenes urbanos pertenecen al transporte público y confrontamos con los de Lima, tendríamos lo siguiente:

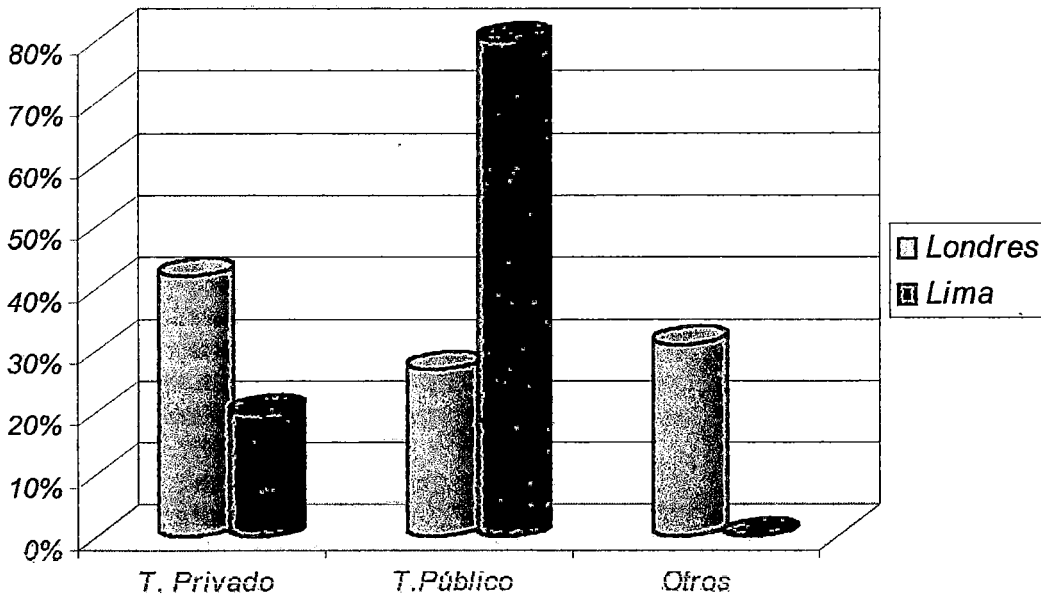


Gráfico 5.3 Composición modal en Londres y Lima
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a estos resultados, se deduce que el transporte por modo público en nuestro sistema es preponderante, por lo que las acciones que se tomen en torno al sector debería seguir el orden de prioridades que los análisis ofrecen. Casi siempre, en Lima, se ha tratado de resolver el problema del transporte desde un punto de vista erróneo. Se piensa que construyendo más infraestructura se mejorará el problema, cuando la dificultad está en afrontar y priorizar la gran demanda en modo público.

- **Necesidad de estratificar la demanda**

Esta es una de las necesidades que se vislumbraron durante el proceso de calibración. Estratificar la demanda, quiere decir que se necesita desagregar más los viajes que se realicen en Lima, comúnmente por estratos socioeconómicos. Esto significa mayor número de matrices, porque éstas son el producto de las interacciones de la demanda de viajes con las actividades realizadas por los usuarios de los distintos niveles socioeconómicos existentes en el área de estudio.

Estratificar la demanda, significaría que sería posible analizar el comportamiento de viaje, de una manera más desagregada, porque implica mayor número de estratos socioeconómicos. Se comentó en el transcurso de este trabajo, que la metodología de la calibración era similar a la realizada en el año 1998 porque las limitaciones de presupuesto e información así lo requerían. Por bien, cuando se calcularon los vectores de generación de viajes, una de las primeras estratificaciones fueron *personas que tienen auto y personas que no tienen auto*. Cada una de ellas luego se estratificaba en aquellas que usaban el transporte público o privado, dependiendo de la situación.

Un ejemplo de la necesidad de una mayor estratificación fue cuando se analizó el impacto de los peajes dentro de la red de transporte, y su influencia en las personas que poseían automóvil. Algunos usuarios de dicho transporte privado consideran el peaje como una penalidad en su costo total de viaje, por lo que tratan de evitarlo de alguna manera – generalmente modificando su ruta – en detrimento de su tiempo de viaje. Sin embargo, otros usuarios sí están dispuestos a pagar el monto que implica el peaje, porque consideran otros atributos en la elección de su ruta. Esta elección se puede simular de acuerdo al nivel socioeconómico de aquellos poseedores de auto. Se podría decir que aquellos que pertenecen a niveles altos están dispuestos a pagar, mientras que los de menores estratos, no. La dificultad en el caso de esta recalibración, fue que no se tenía una adecuada estratificación, por lo que se tuvo que extrapolar e inferir datos.

La dificultad de la estratificación está en que implica un mayor consumo de tiempo – y dinero – en la toma de datos y un análisis más complejo de los atributos en la decisión de viaje. Esta desagregación ayudaría para que los análisis sean más puntuales y los resultados de mayor precisión.

- **Realizar una nueva encuesta Origen – Destino**

Esta apreciación tiene que ver con la anterior necesidad. Para estratificar más la demanda se necesita más información, y esto implica que se necesita mayor

cantidad de datos. Esto se traduce en que la encuesta Origen – Destino, que es la principal base de datos en la formación de modelos, sea más minuciosa y compleja al momento de realizar las entrevistas.

Pero al margen de lo anterior, también se hace necesario realizar otra encuesta debido a que la última – y en la que se basan los dos últimos modelos, el de 1998 y el de 2001 – se realizó en 1992. Muchas cosas han variado desde ese año, y aunque los modelos construidos en base a ella han tenido que realizar trabajos de campo para actualizarla, obteniendo buenos resultados, no hay nada mejor que una nueva encuesta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El número de viajes realizados, en un día, en la ciudad de Lima para el 2001, ha disminuido en un 4.7% con relación a la cifra obtenida en 1998 (de 11 221 540 a 10 696 591 viajes). Esta retracción, obedece a factores sociales y económicos que han ocurrido entre esos años.
- La tasa de generación de viajes también ha descendido (de 1.50 a 1.43 viajes por habitante) producto de los mismos factores que afectaron a los viajes en la capital. Es esta tasa, la que refleja mejor el estado del sector transporte urbano y su entorno social y económico.
- El bajo tiempo de caminata, visto a través de su preponderancia como factor en el costo de viaje, es un claro efecto del momento que vive el transporte urbano en Lima. Esto, sumado a una falta de políticas de incentivo de actividades no motorizadas, por parte de las autoridades, hacen que el rubro de viajes a pie – ó en bicicleta – sea mínimo en nuestro sistema.
- Otro efecto en nuestro sistema, el cual se interpreta a través de indicadores, es la poca penalidad que representa el transbordo. Ahora, más que nunca, el usuario de transporte público no es reacio a cambiar de

- vehículo para continuar su viaje, porque sabe que encontrará alguna ruta que lo lleve a su destino.
- De acuerdo la necesidad de estratificar la demanda que se vislumbró mientras se realizaba el proceso de calibración, sería recomendable que cuando se decida crear un nuevo modelo para Lima, se considerara una mayor segmentación de la demanda.
- Derivada de la necesidad anterior, pero no como razón única, está la recomendación de realizar una nueva encuesta Origen – Destino. Realizar una nueva toma de datos, implicará la generación de nuevas matrices de viaje que reemplazarán a las existentes. Adicionalmente, sería deseable que esta nueva encuesta se programe el mismo año que se realiza la encuesta nacional de hogares, porque de esa forma, se obtendría un mejor análisis.
- Finalmente, este modelo calibrado, con todas sus ventajas y limitaciones, es el mejor con que cuenta la ciudad de Lima hasta el momento. Con ella, se puede analizar el patrón de viajes de la ciudad, y aunque es cierto que tiene mayor precisión en las zonas de influencia del Metro de Lima, también es verdad que ofrece un mejor análisis del transporte público urbano que su predecesor. Y una de sus ventajas, está que todo el proceso analítico (fórmulas, programación, etc.) está registrado y disponible para que estudiado y mejorado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ASOCIACION SOGELERG - CAL Y MAYOR – CESEL S.A., *Estudio Complementario de la Red de Metro de Lima – Estudio de Demanda*. Informe Final, Lima, 1998. (Biblioteca AATE)
2. BUREAU OF TRANSPORTS ECONOMY, *Urban Transport Models: A Review*, Working Paper 39, Department of Transport and Regional Services, Canberra, Commonwealth of Australia, 1998. (Documento propio)
3. CAL Y MAYOR, R. y CARDENAS, J., *Ingeniería de Tránsito*, VII Edición, Alfaomega, México, 1998. (Documento propio)
4. LANE, R., POWELL, T. y PRESTWOOD, P., *Planificación analítica del transporte*; Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid, 1975. (Biblioteca Facultad de Arquitectura – UNI)
5. MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES, VIVIENDA Y COSNTRUCCION, *Manual de Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana*, Oficina de Planeamiento y Programación, Lima, 2000. (Documento propio)
6. ORTUZAR, J. de D. y WILLUMSEN, L.G., *Modelling Transport*, John Wiley & Sons, Inc, London, 1996. (Documento propio)
7. ORTUZAR, J. de D., *Modelos de Demanda de Transporte*, Alfaomega Grupo Editor, México C.V., 2000. (Biblioteca Facultad de Ing. Civil – UNI)
8. THOMSON, J.M., *Teoría económica del transporte*, Alianza Editorial S.A., Madrid, 1976. (Biblioteca Facultad de Arquitectura – UNI)
9. VAN DEN AKKER, Jan y TAPIA, Juan. *Energía, Ambiente y Transporte en Lima Metropolitana*, VDA Groep. Amersfoort, Netherlands, 2001. (Biblioteca AATE)
10. VERA A., Arturo, *La infraestructura de transporte en América Latina*, Banco Interamericano de Desarrollo, Washington DC, Estados Unidos de América, 1997. (Documento propio)

Anexo A

El valor del tiempo

Generalmente, cuando las personas son preguntadas acerca de si el tiempo tiene algún valor, sus respuestas son afirmativas. El problema se presenta cuando se les pregunta cuál es ése valor y de qué forma puede ser medido.

El valor del tiempo es un tema que siempre le ha interesado al hombre, y que en un principio fue ligado sólo al aspecto económico, pero que luego fue introduciéndose en varios aspectos del conocimiento. El transporte fue uno de ellos.

Unos de los aspectos más saltantes es el tema del valor subjetivo del tiempo. Éste tiene que ver bastante con el concepto de costo generalizado de viaje, tantas veces utilizado en el modelo de transporte. La evaluación de las teorías acerca de este tema, como en todas las cosas, han sido desarrolladas con el paso del tiempo y adaptándose a los diferentes cambios en el ambiente económico,

EL VALOR SUBJETIVO DEL TIEMPO⁽¹⁾

Vivimos una época en la que la velocidad pareciese tener mérito en sí, y en la que decir que "no se tiene tiempo" se ha convertido en signo de posición social.

⁽¹⁾ El contenido de este tema es un extracto del artículo "Alienación y Valor del Tiempo" publicado por Sergio R. Jara Díaz, profesor del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile. El texto se puede obtener en www.uchile.cl/publicaciones/anales/9/estudios.html

La siesta y la fiesta serían despreciables, así como la conversación y la lectura. ¿Será que estamos tratando de hacer más cosas para trascender a través de nuestras obras? Esta explicación a la Simone de Beauvoir no parece adecuada. Para convencerse, basta mirar el nivel y contenido de las discusiones públicas, los programas populares en la televisión, e incluso la literatura local, que ha adquirido un tonillo de liviandad que debería intranquilizar a quienes preocupa la independencia intelectual de este colectivo al que llamamos país, nuestro país.

Por otra parte, la esperanza de vida al nacer de los chilenos es del orden de setenta y tres años y nos dicen que el ingreso per capita ha aumentado hasta alcanzar unos cinco mil dólares anuales; es decir, las estadísticas muestran que, generacionalmente, disponemos en promedio de más tiempo de vida que nuestros antecesores y tenemos acceso a una mayor cantidad de bienes y servicios. Como nunca en la historia, disponemos de aparatos que nos permiten asignar nuestro tiempo en forma más eficiente: videograbadores, teléfonos celulares, hornos microonda, controles remotos, correo electrónico. Y, sin embargo, el apuro nos corroe. Pero no es ésta una paradoja novedosa.

Hace más de veinte años, el escritor Michael Ende recibió el Deutscher Jugendbuchpreis por su libro "Momo", subtulado "la extraña historia de los ladrones del tiempo y de la niña que devolvió el tiempo a los hombres". La gran virtud de la niña Momo era saber escuchar, lo que de alguna manera significa regalar a quien se escucha con nuestro tiempo. La labor destructiva de los ladrones del tiempo consistía en convencer a los habitantes de la inutilidad de una serie de acciones. Por ejemplo, convencer al peluquero de conversar menos con sus parroquianos, con lo cual disminuyó el tiempo de atención. Y convencieron a todos de "ahorrar tiempo", fruto de lo cual empezó a disminuir en forma drástica la comunicación entre ellos y a aumentar una vaga sensación de desasosiego e infelicidad. Esta historia, nacida de la sensibilidad de un escritor en el hemisferio norte hace un cuarto de siglo, empieza a pertenecernos. Parece necesario hablar del valor del tiempo.

El tiempo en la Microeconomía.

El valor del tiempo es, en términos microeconómicos, un artefacto a través del cual se intenta captar el equivalente monetario de la disminución, en una unidad, del tiempo necesario para realizar una actividad. Cuando esta equivalencia captura la percepción individual, se habla del valor subjetivo del tiempo o disponibilidad a pagar. Si se nos pidiese una explicación intuitiva acerca de por qué preferiríamos, como parte de un esquema normal de actividades, demorarnos menos en el viaje diario a o desde el trabajo, probablemente llegaríamos a una conclusión que no por trivial deja de ser relevante: un viaje más breve podría permitirnos dormir más, desayunar más relajados, leer el diario, conversar con la familia, o trabajar más, entre otras posibilidades. En todos los casos se trata de sustituir parte de una actividad como el viaje por otra más placentera o útil.

Si agregásemos a lo anterior el carácter endógeno (individual o familiar) de algunas decisiones relativas a la asignación de tiempo a actividades, como por ejemplo el trabajar más o menos o adquirir un vehículo propio, nuestro comportamiento observado podría ser entendido como una superposición de lo deseable con lo factible. En términos más precisos, de las muchas cosas que nos gustaría hacer, el tipo y cantidad de actividades realizadas durante un período están limitadas por la duración del mismo (por ejemplo, un día) y por el grado de acceso a los bienes y servicios necesarios para realizarlas (nivel de ingreso monetario).

El nombre que recibe la rama de la economía que se ocupa del comportamiento doméstico de los individuos, no puede ser más apropiado al Chile de hoy: la teoría del consumidor. Bajo este enfoque, el individuo es interpretado como un buscador de satisfacción personal dentro de los límites impuestos por la disponibilidad personal de bienes y servicios. Hasta fines de los cincuenta, el nivel de satisfacción (utilidad, en el léxico de la disciplina) fue planteado como dependiente del nivel de consumo y, por lo tanto, la única restricción presente era representada por el nivel de ingreso. En el año 1965, Gary Becker publicó un artículo en el que introdujo el tiempo en el marco anterior.

La idea central de Becker fue la de mirar los bienes disponibles en el mercado como instrumentos para adquirir lo que otorgaría real satisfacción: los "bienes finales". Así, un abrigo es una forma de mantener calor y un plato de comida es una forma de adquirir sabor, proteínas y vitaminas. Bajo este enfoque, los bienes finales requieren de dos insumos para ser efectivamente gozados: bienes de mercado que los contengan o que sean necesarios para generarlos, y tiempo de adquisición, preparación y consumo. La cantidad de bienes a adquirir tienen un límite dado por el poder adquisitivo, y los tiempos de consumo (más el de trabajo) tienen un límite dado por los ciclos biológicos.

Sin embargo, Becker señaló también una relación de dependencia entre las dos restricciones, cuyo elemento central es el tiempo de trabajo remunerado. Efectivamente, si el salario unitario (por hora) fuese un dato, a mayor cantidad de horas de trabajo, mayor poder adquisitivo pero también menor disponibilidad de tiempo de consumo. Sobre esta base, Becker sostuvo que ambas restricciones eran en realidad una sola, ya que se dispondría de un ingreso máximo posible (todo el tiempo dedicado al trabajo) y, por lo tanto, el costo del consumo de bienes finales tendría dos componentes: el gasto en los bienes de mercado necesarios, y el salario que se deja de percibir al substituir trabajo por tiempo de consumo. Y he aquí que aparece una primera noción, muy precisa, del valor del tiempo, ya que todo tiempo asignado al consumo tiene como contrapartida (en este modelo) la disminución del tiempo de trabajo y, por lo tanto, un costo igual a la disminución del poder adquisitivo; luego, el valor monetario equivalente del tiempo asignado a cualquier otra actividad no remunerada (ocio, en la literatura) sería exactamente igual al salario que se deja de recibir.

Este enfoque recibió una crítica importante en los años siguientes, particularmente desde la entonces naciente literatura relacionada con la valoración del tiempo de viaje.

La omisión del tiempo de trabajo como potencial fuente de (dis)satisfacción, fue puesta de manifiesto por Johnson (1966) y Oort (1969) en forma explícita. Posteriormente, en el año 1971, DeSerpa hizo un desarrollo bastante más complejo analíticamente, en el cual incluyó dos aspectos conceptuales y uno

formal que lo distinguen del de Becker. El primero es la inclusión del tiempo de trabajo en la función de utilidad y el segundo es el reconocimiento explícito de relaciones entre las cantidades de bienes de mercado consumidas y tiempos mínimos necesarios para ese consumo.

El aporte de DeSerpa fue importante en el sentido de entregar una visión teórica que inducía la necesidad de distinguir entre actividades, al menos entre aquellas que podrían catalogarse como de puro placer y aquellas que tienen el carácter de obligatorias, pero que serían suprimidas si ello fuese factible. El aumento en la asignación de tiempo a una de estas últimas (debido a factores exógenos), significa necesariamente la disminución del tiempo asignado a otra actividad más placentera o al trabajo. En el primer caso, hay una disminución de satisfacción; en el segundo caso, puede haber tanto una disminución de ingreso (y, por lo tanto, de bienes y utilidad) como una variación directa de satisfacción por agrado o desagrado en el trabajo.

Con estos antecedentes, en 1972, Alan Evans propone el primer marco teórico que postula al tiempo dedicado a toda actividad como fuente directa y exclusiva de satisfacción, dejando a los bienes como elementos necesarios para realizar las actividades. Asimismo, marcó su diferencia con Becker por la omisión del tiempo de trabajo en la función de utilidad, además que desarrolló un modelo para describir el comportamiento del consumidor. En este modelo, la utilidad depende sólo de las actividades realizadas apartándose del enfoque tradicional donde la utilidad depende del nivel de consumo.

Posteriores teorías no se acercaban hacia los factores causales del comportamiento con el énfasis que se esperaba, pero un rubro de la microeconomía ha mantenido presente la necesidad de considerar lo que el individuo hace: la economía del hogar. En este tipo de literatura lo relevante ha sido tratar de introducir elementos de decisión individual relacionados con el trabajo en el hogar, como por ejemplo el rol de electrodomésticos en la confección de alimentos y el aseo de la vivienda. Sin embargo, una de las mayores dificultades que se enfrenta en esta área es la falta de información

precisa y confiable. Una de las excepciones la constituye precisamente el caso de los viajes urbanos.

Debido a la necesidad de predecir y planificar el funcionamiento del sistema de transporte, se ha recolectado información relativa a viajes cada vez con mayor detalle. Parte de esta información ha sido usada para modelar decisiones "discretas", como por ejemplo la del modo de viajar. En este tipo de decisiones, el tiempo de viaje (en el vehículo, de acceso a él o de espera del mismo) juega un rol central, al igual que otros aspectos cualitativos como confiabilidad, seguridad o comodidad. Por esta razón, las restricciones de tiempo e ingreso son ineludibles de considerar.

Es a partir de estos modelos de elección discreta que se ha podido calcular valores subjetivos del tiempo de viaje o, lo que es equivalente, la disponibilidad a pagar por disminuir el tiempo de viaje en una unidad. Los resultados obtenidos en viajes al trabajo en áreas urbanas como Santiago y Concepción revelan dos características importantes: la valoración del tiempo de viaje es muy superior al salario unitario líquido, y los tiempos de caminata y espera son valorados al doble y cuádruple, respectivamente, del tiempo de desplazamiento en el vehículo.

En síntesis, y según lo discutido, esa alta disponibilidad a pagar reflejaría dos componentes: el valor monetario del agrado de disminuir el tiempo de viaje en sí, y el valor monetario de la utilidad de poder dedicar ese tiempo a otra actividad. Esta segunda componente tiene, a su vez, alternativas; ellas son la de realizar actividades remuneradas o no remuneradas. Las remuneradas permiten incrementar el consumo de bienes y servicios y, además, pueden ser o no placenteras en sí. Las no remuneradas tendrán algún impacto sobre la utilidad individual; entre éstas, debe incluirse la posible realización de trabajo adicional no remunerado. ¿Qué es entonces el valor del tiempo? ¿Es el valor subjetivo del ocio o el del trabajo? Según la visión microeconómica, si el individuo puede ajustar sus actividades, lo hará de manera tal de equilibrar ambos valores, ya que si así no fuese, variaría los montos relativos de tiempo asignado hasta igualarlos.

Como se dijera, la teoría económica no ofrece explicaciones al placer o desagrado que una actividad provoque, aunque permita medir con cierta precisión la valoración monetaria de tal asignación de tiempo. Para construir explicaciones acerca de por qué tal valoración es alta o baja, se debe tratar de entender lo que hay tras las percepciones del tiempo.

El tiempo cronológico es una referencia patrón que no necesariamente coincide con la forma en que cada uno de nosotros lo captura. Basta cronometrar la duración de las intervenciones de cada uno de los oradores en una reunión, y luego preguntar cuánto cree que se demoró, tanto al orador como a quienes le seguían en el uso de la palabra, para darse cuenta de que se tiende a subestimar la duración de la propia intervención y a sobrestimar la de los demás. La diferente valoración de los tiempos de espera o de movimiento en un vehículo, tiene su base en este tipo de fenómenos, considerando que la espera es un intervalo vacío separado del término esperado y que el viaje está activamente ligado al fin, ó que el acceso es caminata (trabajo, en general indeseado) y el viaje permite otras acciones potencialmente placenteras (leer, oír música, conversar).

Anexo B

RESULTADOS DE LOS PERIODOS TARDE Y VALLE

1. Periodo Tarde

1.1. Calibración de la oferta de transporte público (Volumen unidades)

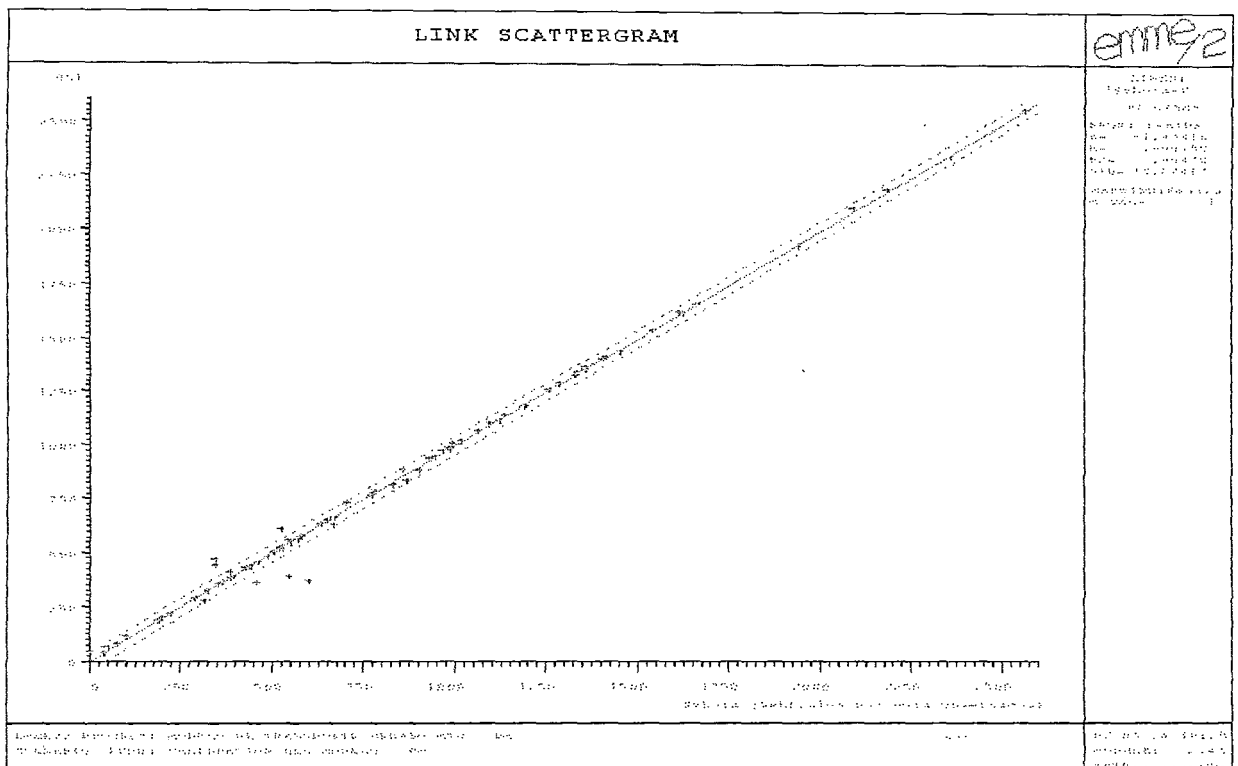


Gráfico B.1. Calibración de la oferta de transporte público. Periodo Tarde. Se logró un $R^2=0.99$ con una pendiente de 0.99. Un ajuste muy bueno.

Fuente: Calibración Modelo Transporte Urbano. Gerencia de Desarrollo. AATE

1.2 Calibración de la oferta de transporte privado (Volumen de autos)

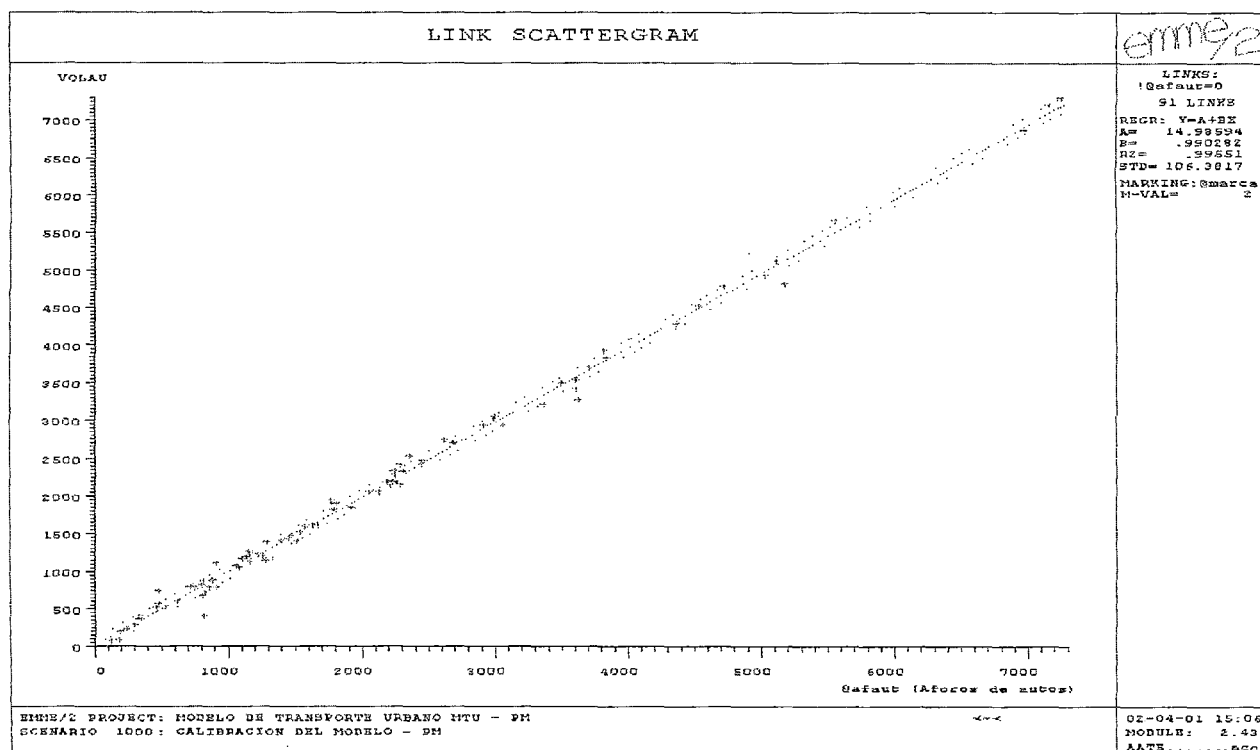


Gráfico B.2. Calibración de la oferta de transporte privado. Periodo Tarde. Se logró un $R^2=0.99$ con una pendiente de 0.99. Un ajuste muy bueno.

Fuente: Calibración Modelo Transporte Urbano. Gerencia de Desarrollo. AATE

1.3 Calibración de tiempo de viaje en transporte privado

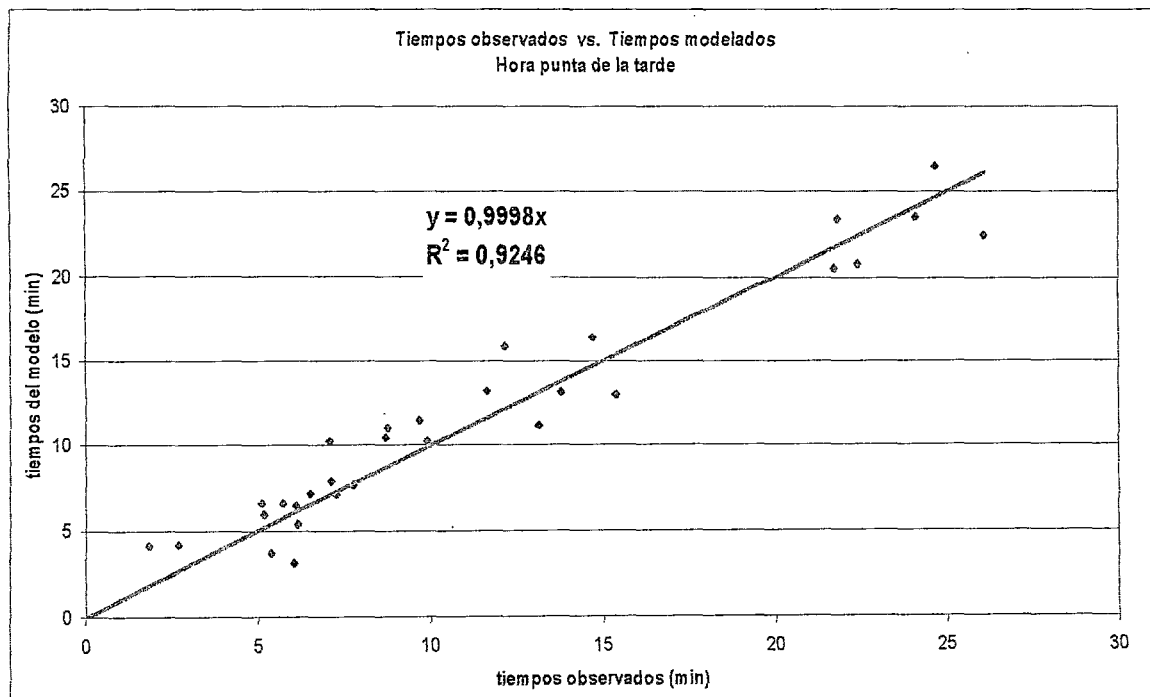


Gráfico B.3. Calibración de tiempo de viaje en transporte privado. Periodo Tarde
Fuente: Calibración Modelo Transporte Urbano. Gerencia de Desarrollo. AATE

1.4. Resultados relevantes de la matriz de viajes en transporte privado

Concepto	2001
Tiempo medio de viaje (min.)	26.30
Longitud media de viaje (Km.)	9.40
Viajes (en autos)	249 540
Tasa de ocupación (persona/auto)	1.62
Viajes en personas	404 255

Gráfico B.4. Parámetros de la matriz de viajes en transporte privado. Periodo Tarde
Fuente: Calibración Modelo Transporte Urbano. Gerencia de Desarrollo. AATE

1.5 Calibración tiempos de viaje en transporte público

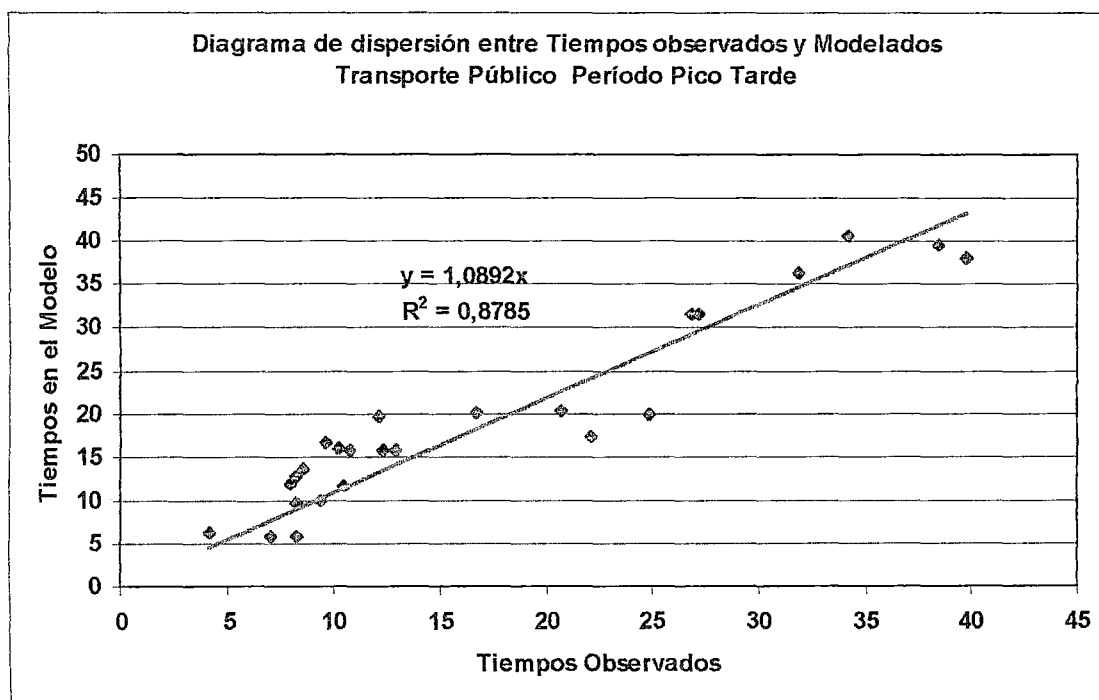


Gráfico B.5. Calibración de tiempos de viaje en transporte público. Periodo Tarde
Fuente: Calibración Modelo Transporte Urbano. Gerencia de Desarrollo. AATE

1.6 Parámetros (pesos) calibrados de la función de costo

Peso	1998	2001	Diferencia
Tiempo espera	0.7	1.8	+157.14%
Tiempo caminata	3.5	4.5	+28.57%
Trasbordo	4.5	1.2	-26.58%

Gráfico B.6. Parámetros calibrados de la función de costo. Periodo Tarde
Fuente: Calibración Modelo Transporte Urbano. Gerencia de Desarrollo. AATE

1.7 Calibración de aforos de pasajeros en transporte público

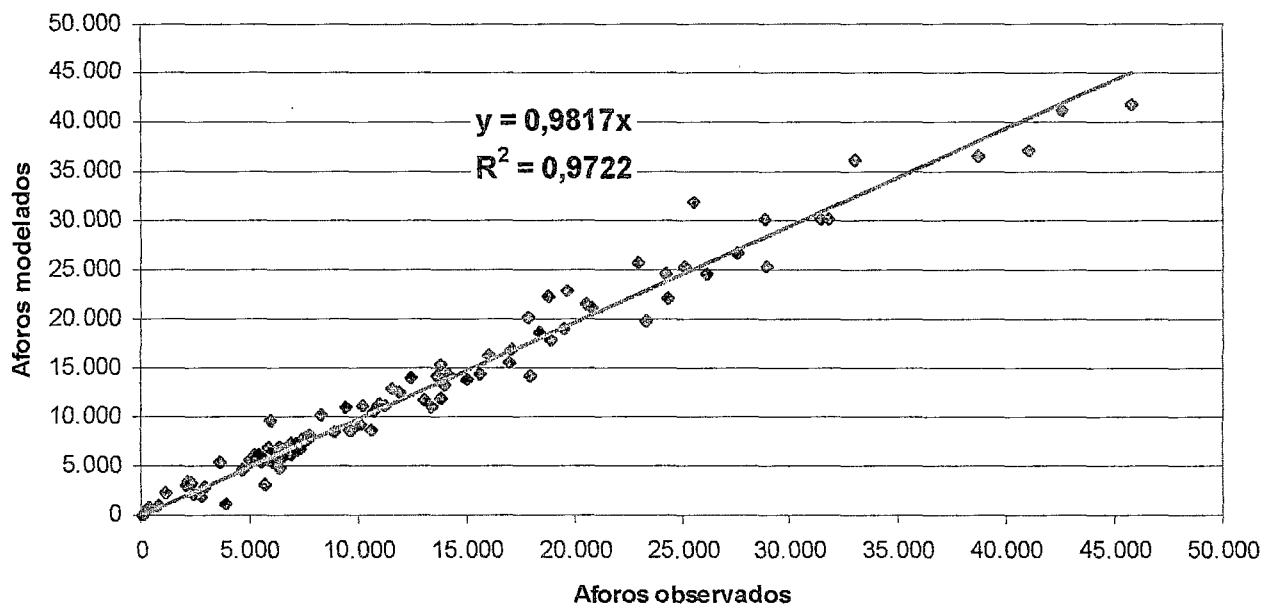


Gráfico B.7. Calibración de aforos de pasajeros en transporte público. Periodo Tarde
Fuente: Calibración Modelo Transporte Urbano. Gerencia de Desarrollo. AATE

1.8 Matriz de viaje en transporte público

donde:

- ms1: San Juan de Miraflores, V. El Salvador, V. María del Triunfo
- ms2: Barranco, Chorrillos
- ms3: Lince, Miraflores, San Isidro, Surquillo
- ms4: Magdalena, San Miguel
- ms5: Callao, Bellavista, La Perla
- ms6: Breña, Jesús María, Pueblo Libre, C.de la Legua
- ms7: Lima Cercado, La Victoria, Rímac
- ms8: Independencia, San Martín de Porres
- ms9: Carabaylo, Comas, Los Olivos
- ms10: San Juan de Lurigancho
- ms11: Ate Vitarte, Chaclacayo, El Agustino, Santa Anita
- ms12: Lurigancho (Chosica)
- ms13: San Borja, San Luis, Santiago de Surco
- ms14: Cieneguilla, La Molina
- ms15: Ventanilla
- ms16: Ancón-Santa Rosa - Puente Piedra
- ms17: Lurín, Pucusana, Pta. Hermosa, Pta. Negra, San Bartolo, Sta. María

		DESTINO																	ORIGEN
		ms1	ms2	ms3	ms4	ms5	ms6	ms7	ms8	ms9	ms10	ms11	ms12	ms13	ms14	ms15	ms16	ms17	
ORIGEN	ms1	68.810	5.757	3.340	1.067	2.365	1.354	2.097	512	836	124	2.224	8	7.460	907	1	1	947	97.811
	ms2	12.996	6.449	856	2.234	672	2.846	3.787	705	1.012	313	2.150	3	1.353	477	1	1	44	35.897
	ms3	16.650	4.086	6.607	8.061	10.398	11.635	19.771	4.350	2.375	6.229	23.668	80	7.569	2.122	22	38	178	123.839
	ms4	1.123	4.521	3.710	6.288	8.374	6.250	5.561	4.312	1.926	1.468	946	7	2.719	303	491	32	133	48.165
	ms5	5.471	1.000	5.220	11.124	44.429	12.105	8.696	12.474	8.564	1.494	2.127	20	2.085	330	3.272	507	139	119.055
	ms6	736	2.753	6.396	7.449	11.599	11.820	17.145	7.995	4.982	7.246	5.643	97	5.057	658	1.492	48	480	91.607
	ms7	10.142	7.889	18.475	10.406	20.249	18.588	54.338	22.168	17.443	28.576	36.346	421	24.496	4.061	1.170	302	1.575	276.644
	ms8	1.035	1.296	1.583	2.200	8.370	5.001	9.788	19.130	21.178	3.134	4.144	38	891	1.159	282	2.552	7	81.786
	ms9	1.284	1.448	800	1.144	6.048	3.224	6.358	22.352	79.551	1.015	5.121	8	526	514	812	5.625	14	135.844
	ms10	982	126	3.489	1.373	2.820	3.255	12.521	2.000	899	66.042	7.735	498	1.577	594	21	216	147	104.292
	ms11	6.838	1.123	6.530	1.296	741	3.616	10.434	2.691	4.362	6.467	28.710	2.562	13.865	16.462	69	1.135	755	107.655
	ms12	51	5	218	32	18	96	538	83	13	911	3.438	1	394	438	0	0	48	6.284
	ms13	27.891	1.716	3.292	2.301	2.174	3.997	9.289	1.188	745	1.503	16.333	226	6.760	2.270	9	6	399	80.101
	ms14	4.591	422	983	278	96	631	2.193	509	470	799	11.480	287	2.557	4.100	4	1	255	29.657
	ms15	122	1	114	778	2.755	1.213	497	866	2.502	23	48	0	6	14	523	951	0	10.412
	ms16	165	5	49	117	1.586	183	445	1.845	9.318	122	270	0	16	5	2.649	7.319	0	24.093
	ms17	4.228	199	158	73	21	172	358	85	44	33	214	2	361	107	0	0	922	6.976
DESTINO	163.116	38.796	61.819	56.218	122.714	85.986	163.815	103.262	156.221	125.500	150.595	4.239	77.700	34.521	10.817	18.735	6.044	1.380.117	
	12%	3%	4%	4%	9%	6%	12%	7%	11%	9%	11%	0%	6%	3%	1%	1%	0%		

Gráfico B.8. Matriz de viajes en transporte público. Periodo Tarde
Fuente: Calibración Modelo Transporte Urbano. Gerencia de Desarrollo. AATE

2. Periodo Valle

2.1 Tiempo de viaje en transporte privado

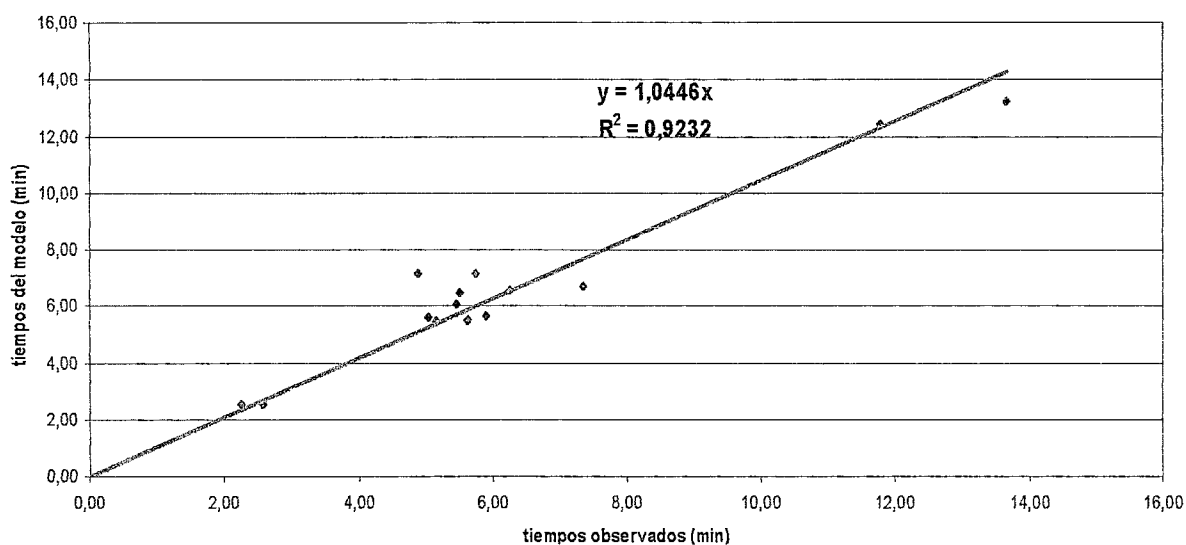


Gráfico B.9. Tiempos de viaje en transporte privado. Periodo Valle
Fuente: Calibración Modelo Transporte Urbano. Gerencia de Desarrollo. AATE

2.2 Resultados relevantes de la matriz de viaje en transporte privado

Concepto	2001
Tiempo medio de viaje (min.)	22.70
Longitud media de viaje (Km.)	9.67
Viajes (en autos)	184 213
Tasa de ocupación (Persona/Auto)	1.34
Viajes en personas	246 845

Gráfico B.10. Parámetros de la matriz de viajes en transporte privado. Periodo Valle
Fuente: Calibración Modelo Transporte Urbano. Gerencia de Desarrollo. AATE

2.3 Parámetros (pesos) calibrados de la función de costo

Peso	1998	2001	Diferencia
Tiempo espera	0.7	1.8	+157.14%
Tiempo caminata	3.5	4.5	+28.57%
Trasbordo	4.5	1.2	-26.58%

Gráfico B.11. Parámetros calibrados de la función de costo. Periodo Valle
Fuente: Calibración Modelo Transporte Urbano. Gerencia de Desarrollo. AATE

2.4 Tiempos de viaje en transporte público

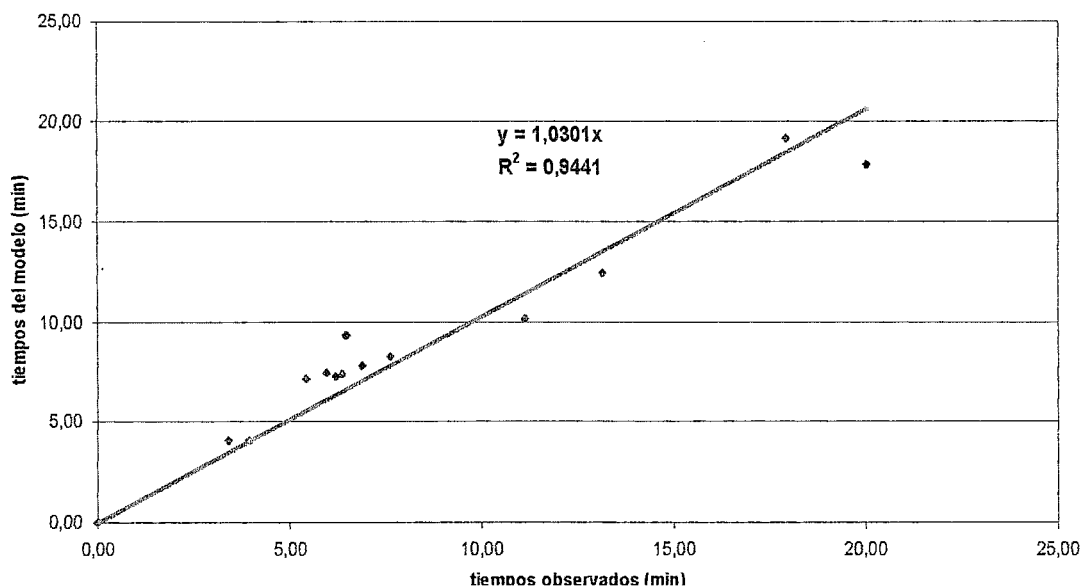


Gráfico B.12. Tiempos de viaje en transporte público. Periodo Valle
Fuente: Calibración Modelo Transporte Urbano. Gerencia de Desarrollo. AATE

2.5 Matriz de viaje en transporte público

donde:

- ms1: San Juan de Miraflores, V. El Salvador, V. María del Triunfo
- ms2: Barranco, Chorrillos
- ms3: Lince, Miraflores, San Isidro, Surquillo
- ms4: Magdalena, San Miguel
- ms5: Callao, Bellavista, La Perla
- ms6: Breña, Jesús María, Pueblo Libre, C.de la Legua
- ms7: Lima Cercado, La Victoria, Rímac
- ms8: Independencia, San Martín de Porres
- ms9: Carabaylo, Comas, Los Olivos
- ms10: San Juan de Lurigancho
- ms11: Ate Vitarte, Chaclacayo, El Agustino, Santa Anita
- ms12: Lurigancho (Chosica)
- ms13: San Borja, San Luis, Santiago de Surco
- ms14: Cieneguilla, La Molina
- ms15: Ventanilla
- ms16: Ancón-Santa Rosa - Puente Piedra
- ms17: Lurín, Pucusana, Pta. Hermosa, Pta. Negra, San Bartolo, Sta. María

		DESTINO																	
		ms1	ms2	ms3	ms4	ms5	ms6	ms7	ms8	ms9	ms10	ms11	ms12	ms13	ms14	ms15	ms16	ms17	
ORIGEN	ms1	39.036	4.361	5.435	808	1.634	922	4.361	457	1.075	423	2.705	34	10.212	1.458	28	65	1.544	74.558
	ms2	4.429	2.416	1.087	1.680	676	1.649	4.508	419	670	309	1.842	21	816	385	5	10	86	21.008
	ms3	5.421	1.064	3.361	2.942	5.554	4.703	10.488	2.289	1.477	3.007	11.189	133	2.776	935	74	30	84	55.526
	ms4	898	1.821	3.169	3.220	4.889	3.985	4.878	2.161	1.105	874	1.154	25	1.703	254	255	100	30	30.521
	ms5	1.781	952	5.905	5.019	23.731	6.763	9.602	7.518	5.222	1.042	1.687	41	1.553	139	1.314	1.073	20	73.362
	ms6	1.076	1.632	4.716	3.636	6.385	6.961	9.531	4.218	3.033	2.848	3.318	88	2.866	490	762	81	62	51.702
	ms7	4.254	4.311	10.566	4.432	9.369	9.567	31.459	11.425	8.347	11.882	14.130	524	11.056	2.169	559	281	201	134.531
	ms8	575	659	2.833	2.422	8.002	4.487	11.807	10.832	11.846	2.122	2.759	124	846	760	300	1.458	30	61.865
	ms9	1.458	1.318	1.810	1.300	5.222	2.895	8.468	11.846	41.054	1.125	2.436	42	613	352	908	3.540	29	84.416
	ms10	425	225	2.811	775	1.021	2.579	12.434	2.103	1.109	33.981	4.493	563	1.612	793	52	253	16	65.245
	ms11	2.942	1.663	10.568	1.075	1.564	3.123	13.478	2.085	1.835	4.486	13.992	1.200	9.052	7.300	110	1.102	123	75.697
	ms12	41	19	130	24	62	100	494	94	40	563	1.190	0	233	218	1	1	3	3.213
	ms13	7.536	836	2.784	1.605	1.480	2.912	11.258	782	566	1.692	9.294	253	3.888	1.372	12	18	113	46.400
	ms14	1.710	379	931	251	109	465	1.705	388	174	702	7.132	218	1.306	2.046	6	2	44	17.567
	ms15	31	4	69	252	1.314	767	565	300	908	52	121	1	13	11	329	1.664	0	6.403
	ms16	72	10	63	113	1.073	124	354	1.458	3.540	263	1.105	1	21	3	1.664	2.554	1	12.419
	ms17	1.578	86	82	30	16	52	196	30	28	14	127	3	119	46	0	1	241	2.649
	73.264	21.755	56.321	29.583	72.100	52.054	135.586	58.405	82.028	65.386	78.673	3.272	48.686	18.729	6.379	12.232	2.627	817.082	
	9%	3%	7%	4%	9%	6%	17%	7%	10%	8%	10%	0%	6%	2%	1%	1%	0%		

Gráfico B.13. Matriz de viajes en transporte público. Periodo Valle
Fuente: Calibración Modelo Transporte Urbano. Gerencia de Desarrollo. AATE

Anexo C

AFOROS DE VEHÍCULOS Y PASAJEROS

FLUJO VEHICULAR

VIA	:	República de Panamá
PUNTO	:	
SENTIDO	:	Norte - Sur
Fecha	:	

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	CAMION	TOTAL
5:00-5:15	2	1	1	32	2		38
5:15-5:30	2	1	2	45	5		55
5:30-5:45	3	3	1	50	9	2	68
5:45-6:00	6	4	1	81	9	1	82
6:00-6:15	9	2	3	73	15		102
6:15-6:30	12	1	2	72	25		112
6:30-6:45	16	6	2	104	32	1	161
6:45-7:00	20	8	11	170	37		246
7:00-7:15	19	5	13	208	49		291
7:15-7:30	21	6	15	253	65	2	368
7:30-7:45	22	7	15	305	63	2	414
7:45-8:00	25	9	24	353	62	4	477
8:00-8:15	22	14	10	291	54	2	393
8:15-8:30	27	12	17	300	61		417
8:30-8:45	31	12	20	275	47	5	390
8:45-9:00	28	11	15	280	61	3	388
9:00-9:15	23	12	14	350	45	2	446
9:15-9:30	24	17	18	256	44	1	360
9:30-9:45	22	25	25	353	47	2	474
9:45-10:00	26	17	24	334	43	3	447
10:00-10:15	18	18	12	321	53	6	428
10:15-10:30	25	16	12	341	38	4	435
10:30-10:45	24	18	13	352	37	4	458
10:45-11:00	19	14	15	313	36	6	403
11:00-11:15	23	17	18	336	31	3	428
11:15-11:30	25	27	22	333	32	11	450
11:30-11:45	19	19	10	340	29	3	420
11:45-12:00	23	13	14	388	29	7	464
12:00-12:15	21	10	14	345	35	5	430
12:15-12:30	24	12	12	375	31	2	457
12:30-12:45	28	10	11	348	47	2	446
12:45-13:00	21	12	10	426	37	8	515
13:00-13:15	23	13	12	392	40	6	476
13:15-13:30	24	18	15	388	32	4	491
13:30-13:45	24	15	9	386	37	2	473
13:45-14:00	17	11	11	328	41	2	410
14:00-14:15	22	11	12	336	30	3	414
14:15-14:30	20	14	14	327	61	4	440
14:30-14:45	21	12	14	320	63	8	438
14:45-15:00	34	17	18	538	48	2	657
15:00-15:15	21	12	12	252	61	3	361
15:15-15:30	18	18	20	204	61	5	327
15:30-15:45	35	17	25	283	35	6	381
15:45-16:00	27	10	18	258	27	4	344
16:00-16:15	25	11	14	253	33	3	339
16:15-16:30	19	14	12	219	37	1	301
16:30-16:45	28	17	18	226	36	3	328
16:45-17:00	25	20	19	183	29	2	258
17:00-17:15	21	19	18	145	49	2	254
17:15-17:30	22	17	16	281	39	4	359
17:30-17:45	26	14	17	247	31	5	340
17:45-18:00	30	17	17	184	40	1	289
18:00-18:15	18	14	9	186	30	4	259
18:15-18:30	20	22	12	251	40	4	349
18:30-18:45	19	24	14	238	29	3	327
18:45-19:00	24	10	16	267	47	2	366
19:00-19:15	22	11	15	287	41	3	378
19:15-19:30	18	18	12	344	42	2	437
19:30-19:45	20	22	13	298	64	2	419
19:45-20:00	23	18	9	181	77	1	310
20:00-20:15	17	19	15	154	41	1	247
20:15-20:30	12	11	10	193	47	1	274
20:30-20:45	13	7	5	199	45		269
20:45-21:00	17	5	9	184	44		268
21:00-21:15	11	5	8	177	22	1	224
21:15-21:30	9	2	5	153	26		185
21:30-21:45	13	3	5	131	24		176
21:45-22:00	8	3	3	123	14		151
22:00-22:15	9	3	3	95	8	2	120
22:15-22:30	10	2	2	93	6		113
22:30-22:45	8	1	3	92	9		113
22:45-23:00	8		2	118	12		140

FLUJO DE PASAJEROS

VIA : República de Panamá
 PUNTO :
 SENTIDO : Norte - Sur
 Fecha :

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	TOTAL
5:00-5:15	16	12	0	62	8	90
5:15-5:30	16	0	6	88	19	110
5:30-5:45	0	19	3	99	26	119
5:45-6:00	87	18	0	119	31	224
6:00-6:15	187	24	27	142	44	380
6:15-6:30	232	0	30	140	95	402
6:30-6:45	337	6	0	203	100	546
6:45-7:00	628	67	121	332	118	1148
7:00-7:15	924	128	74	402	154	1528
7:15-7:30	738	92	149	505	224	1482
7:30-7:45	795	72	181	595	220	1643
7:45-8:00	884	98	215	688	188	1865
8:00-8:15	806	81	70	398	158	1155
8:15-8:30	618	84	99	346	135	1147
8:30-8:45	862	72	100	376	108	1210
8:45-9:00	634	161	77	389	128	1261
9:00-9:15	594	193	77	476	102	1340
9:15-9:30	459	119	88	352	85	998
9:30-9:45	338	125	118	495	109	1077
9:45-10:00	449	255	99	486	89	1269
10:00-10:15	326	184	72	456	115	1039
10:15-10:30	458	133	60	500	79	1148
10:30-10:45	466	149	25	527	73	1167
10:45-11:00	327	107	64	449	84	947
11:00-11:15	483	136	76	509	87	1204
11:15-11:30	558	102	108	580	91	1329
11:30-11:45	397	288	68	580	74	1331
11:45-12:00	455	128	98	558	74	1239
12:00-12:15	452	153	112	601	89	1318
12:15-12:30	530	100	132	578	73	1340
12:30-12:45	599	142	85	569	120	1395
12:45-13:00	475	100	61	623	110	1259
13:00-13:15	628	114	134	605	110	1481
13:15-13:30	600	168	123	646	104	1537
13:30-13:45	728	304	92	591	133	1718
13:45-14:00	434	204	61	656	130	1355
14:00-14:15	664	66	140	554	99	1424
14:15-14:30	521	138	150	519	220	1326
14:30-14:45	582	210	149	502	236	1423
14:45-15:00	786	133	84	921	175	1894
15:00-15:15	474	298	88	487	196	1327
15:15-15:30	488	141	165	363	195	1157
15:30-15:45	728	227	209	634	126	1788
15:45-16:00	651	202	123	489	85	1465
16:00-16:15	583	123	100	439	97	1245
16:15-16:30	458	185	66	440	96	1149
16:30-16:45	638	228	139	481	93	1466
16:45-17:00	528	247	149	413	86	1337
17:00-17:15	442	271	156	319	145	1189
17:15-17:30	551	311	161	668	140	1691
17:30-17:45	705	281	180	591	98	1757
17:45-18:00	928	200	172	437	132	1737
18:00-18:15	548	306	109	464	86	1427
18:15-18:30	761	271	135	682	129	1849
18:30-18:45	771	510	185	655	107	2101
18:45-19:00	1005	561	228	790	151	2584
19:00-19:15	784	212	180	759	159	1995
19:15-19:30	854	212	165	922	185	2153
19:30-19:45	819	384	168	765	283	2146
19:45-20:00	921	386	100	501	294	1918
20:00-20:15	703	326	177	381	158	1567
20:15-20:30	407	434	111	544	174	1496
20:30-20:45	484	117	42	487	174	1130
20:45-21:00	585	142	93	510	199	1330
21:00-21:15	365	115	92	485	105	1057
21:15-21:30	283	115	34	356	111	789
21:30-21:45	424	24	61	295	110	604
21:45-22:00	226	63	35	288	67	612
22:00-22:15	275	63	35	233	39	608
22:15-22:30	188	0	22	239	19	449
22:30-22:45	227	0	93	200	36	520
22:45-23:00	229	0	18	246	44	493

RUTAS VEHICULARES	
VIA :	República de Panamá
PUNTO :	
SENTIDO :	Sur - Norte
Fecha :	

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	CAMION	TOTAL
5:00-5:15	1			42	8	2	53
5:15-5:30	5	2	1	36	24		68
5:30-5:45	10	3	2	59	19		93
5:45-6:00	10	8	2	56	21		97
6:00-6:15	13	9	7	61	32	1	123
6:15-6:30	19	7	13	85	43	2	169
6:30-6:45	21	12	20	136	26	1	216
6:45-7:00	25	17	23	187	34		266
7:00-7:15	33	18	32	233	39	2	357
7:15-7:30	27	21	30	277	32	1	368
7:30-7:45	28	26	19	257	33	8	372
7:45-8:00	29	23	31	265	31	1	380
8:00-8:15	37	18	33	294	16	3	391
8:15-8:30	27	20	27	290	28	3	395
8:30-8:45	27	18	20	267	21	4	357
8:45-9:00	19	18	30	271	24	3	365
9:00-9:15	27	12	20	205	15	7	286
9:15-9:30	23	15	27	277	23	7	372
9:30-9:45	25	12	25	255	20	8	345
9:45-10:00	24	14	26	244	21	7	336
10:00-10:15	27	13	17	240	16	10	323
10:15-10:30	23	8	26	311	19	8	388
10:30-10:45	27	16	15	312	12	7	389
10:45-11:00	21	16	22	299	13	6	377
11:00-11:15	21	11	19	271	14	8	344
11:15-11:30	24	13	22	270	15	4	348
11:30-11:45	30	12	20	305	14	3	384
11:45-12:00	25	13	17	217	17	8	297
12:00-12:15	23	17	22	204	19	5	290
12:15-12:30	28	15	21	281	21	4	370
12:30-12:45	24	12	26	223	8	8	301
12:45-13:00	25	14	16	189	21	4	269
13:00-13:15	22	15	15	191	29	1	273
13:15-13:30	26	18	18	266	19	7	354
13:30-13:45	25	5	14	218	24	6	292
13:45-14:00	23	9	25	249	19	4	329
14:00-14:15	25	12	25	245	25	9	341
14:15-14:30	21	13	22	297	25	7	365
14:30-14:45	29	13	29	278	23	5	375
14:45-15:00	27	8	26	276	33	1	372
15:00-15:15	25	14	22	253	60	8	382
15:15-15:30	27	13	27	279	42	3	391
15:30-15:45	21	11	21	299	34	6	392
15:45-16:00	26	13	41	323	24	9	441
16:00-16:15	20	15	30	294	29	5	393
16:15-16:30	23	9	24	286	40	3	385
16:30-16:45	24	14	27	246	75	10	396
16:45-17:00	24	13	24	306	43	7	417
17:00-17:15	21	12	22	299	30	11	385
17:15-17:30	20	9	24	333	27	5	418
17:30-17:45	25	8	24	292	47	3	399
17:45-18:00	23	19	22	288	88	4	425
18:00-18:15	23	9	24	309	30	2	397
18:15-18:30	23	8	24	321	28	10	414
18:30-18:45	24	8	23	299	30	4	387
18:45-19:00	29	8	29	250	38	4	358
19:00-19:15	22	12	21	240	27	2	324
19:15-19:30	23	10	19	280	27	4	363
19:30-19:45	22	7	16	251	22	2	320
19:45-20:00	25	5	13	273	24	6	348
20:00-20:15	20	1	10	234	36	2	303
20:15-20:30	16	6	10	219	35		286
20:30-20:45	17	2	8	222	36	3	288
20:45-21:00	10	4	6	198	31	1	250
21:00-21:15	14	1	4	172	29	2	222
21:15-21:30	14	2	6	169	23	4	218
21:30-21:45	11	2	6	132	20		171
21:45-22:00	9	1	5	150	13		178
22:00-22:15	10		5	129	13		157
22:15-22:30	8		5	125	22		160
22:30-22:45	9		4	97	20	2	132
22:45-23:00	12		4	140	31	1	188

FLUJO DE PASAJEROS

VIA :	República de Panamá
PUNTO :	
SENTIDO :	Sur - Norte
Fecha :	

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	TOTAL
5:00-5:15	8	0	0	82	38	129
5:15-5:30	85	6	0	70	93	254
5:30-5:45	220	9	0	115	88	432
5:45-6:00	158	48	29	109	62	421
6:00-6:15	352	61	67	119	112	711
6:15-6:30	661	67	65	166	148	1108
6:30-6:45	651	131	209	269	88	1342
6:45-7:00	909	241	280	326	141	1797
7:00-7:15	1436	281	390	454	128	2691
7:15-7:30	1518	392	399	540	141	2980
7:30-7:45	1494	368	252	501	169	2784
7:45-8:00	1233	491	450	517	151	2842
8:00-8:15	1420	324	425	419	56	2644
8:15-8:30	1148	459	340	509	75	2531
8:30-8:45	1018	313	194	500	79	2102
8:45-9:00	686	297	297	450	60	1780
9:00-9:15	963	180	194	345	47	1729
9:15-9:30	646	324	242	510	92	1814
9:30-9:45	646	176	231	532	72	1657
9:45-10:00	570	176	193	455	89	1483
10:00-10:15	708	149	129	480	55	1519
10:15-10:30	542	122	179	518	62	1423
10:30-10:45	639	152	113	551	47	1502
10:45-11:00	353	134	119	564	44	1213
11:00-11:15	448	132	109	491	44	1223
11:15-11:30	473	101	80	528	52	1234
11:30-11:45	648	170	77	580	51	1536
11:45-12:00	453	117	57	339	56	1022
12:00-12:15	364	142	113	347	64	1070
12:15-12:30	548	158	92	535	89	1422
12:30-12:45	328	192	74	421	33	989
12:45-13:00	422	76	93	347	89	1027
13:00-13:15	455	179	106	333	118	1189
13:15-13:30	618	141	94	475	74	1400
13:30-13:45	489	59	46	382	67	1043
13:45-14:00	566	144	89	447	72	1298
14:00-14:15	433	144	162	347	90	1176
14:15-14:30	406	117	133	509	93	1258
14:30-14:45	675	109	192	476	64	1536
14:45-15:00	693	63	225	640	108	1720
15:00-15:15	549	0	170	645	203	1567
15:15-15:30	809	156	253	730	145	2093
15:30-15:45	571	198	166	713	133	1781
15:45-16:00	736	166	259	669	93	1923
16:00-16:15	473	113	208	712	112	1616
16:15-16:30	589	81	191	620	166	1647
16:30-16:45	708	126	456	564	345	2199
16:45-17:00	571	228	363	630	187	1979
17:00-17:15	442	108	156	739	125	1570
17:15-17:30	488	144	223	743	121	1717
17:30-17:45	610	64	195	642	180	1691
17:45-18:00	808	228	343	620	438	2437
18:00-18:15	741	54	291	893	145	2124
18:15-18:30	829	48	382	718	120	2097
18:30-18:45	853	48	283	760	135	2079
18:45-19:00	1076	96	248	632	178	2230
19:00-19:15	1032	0	180	591	127	1930
19:15-19:30	1025	117	221	603	122	2088
19:30-19:45	645	0	141	711	101	1598
19:45-20:00	1055	30	153	672	111	2021
20:00-20:15	323	0	181	515	168	1187
20:15-20:30	283	36	234	407	155	1115
20:30-20:45	308	0	195	405	184	1090
20:45-21:00	206	0	175	378	147	906
21:00-21:15	258	0	196	344	133	931
21:15-21:30	182	0	412	237	108	938
21:30-21:45	172	0	315	198	83	768
21:45-22:00	174	0	171	348	67	760
22:00-22:15	249	0	124	242	55	669
22:15-22:30	136	0	152	313	80	681
22:30-22:45	118	0	174	136	81	519
22:45-23:00	188	0	88	283	126	644

FLUJO VEHICULAR

VIA : Pte. R. Palma x Abancay
 PUNTO :
 SENTIDO : Norte - Sur
 Fecha :

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	CAMION	TOTAL
5:00-5:15	3	8	14	32		2	59
5:15-5:30	8	3	20	39		1	71
5:30-5:45	14	7	30	38		2	89
5:45-6:00	13	9	26	38		1	87
6:00-6:15	23	15	35	89			167
6:15-6:30	38	28	23	112		1	200
6:30-6:45	47	23	25	142			237
6:45-7:00	45	24	29	250		1	349
7:00-7:15	51	28	34	286		1	400
7:15-7:30	44	34	36	412			526
7:30-7:45	41	31	40	485		3	600
7:45-8:00	55	31	49	599			734
8:00-8:15	54	38	47	447		1	587
8:15-8:30	47	33	45	433			558
8:30-8:45	44	38	47	428			553
8:45-9:00	45	35	53	459			592
9:00-9:15	47	54	52	468		1	622
9:15-9:30	49	50	53	428			580
9:30-9:45	47	31	44	247		1	370
9:45-10:00	49	36	40	255		2	382
10:00-10:15	51	34	45	304		1	435
10:15-10:30	44	27	32	240		1	344
10:30-10:45	48	32	35	238		1	354
10:45-11:00	48	29	45	180		2	304
11:00-11:15	32	31	21	165			249
11:15-11:30	50	28	31	187		3	299
11:30-11:45	34	25	30	209		1	299
11:45-12:00	39	26	33	205		1	304
12:00-12:15	37	29	38	105		1	210
12:15-12:30	34	25	28	125			212
12:30-12:45	29	24	18	112		1	184
12:45-13:00	40	29	20	148			237
13:00-13:15	38	30	20	156		2	247
13:15-13:30	48	34	22	139			243
13:30-13:45	38	37	21	161			258
13:45-14:00	39	30	26	230		1	326
14:00-14:15	38	39	26	203		2	310
14:15-14:30	42	39	26	212		1	320
14:30-14:45	38	31	20	208		1	294
14:45-15:00	34	44	22	187			287
15:00-15:15	43	38	33	250		3	367
15:15-15:30	46	48	24	283		1	402
15:30-15:45	44	38	17	224		4	327
15:45-16:00	50	44	27	247		2	370
16:00-16:15	42	42	30	223		1	338
16:15-16:30	46	38	33	200		1	318
16:30-16:45	45	39	34	280		2	400
16:45-17:00	45	35	40	302		4	426
17:00-17:15	41	40	37	250		1	369
17:15-17:30	48	30	26	271		2	379
17:30-17:45	40	34	33	330		4	441
17:45-18:00	47	30	30	320		1	428
18:00-18:15	35	40	33	188		1	295
18:15-18:30	37	28	27	230		2	324
18:30-18:45	43	33	35	427		5	543
18:45-19:00	35	36	39	350		3	463
19:00-19:15	33	29	27	301		1	391
19:15-19:30	35	34	26	272			369
19:30-19:45	35	25	25	286		2	383
19:45-20:00	29	32	21	183		1	266
20:00-20:15	28	28	17	230			301
20:15-20:30	23	12	22	229		1	287
20:30-20:45	49	13	18	298		2	378
20:45-21:00	28	16	16	270		2	330
21:00-21:15	15	11	15	298		1	340
21:15-21:30	15	11	10	242			278
21:30-21:45	20	15	17	271		1	324
21:45-22:00	21	12	19	226		1	279
22:00-22:15	18	8	29	368		1	422
22:15-22:30	15	7	17	280		4	323
22:30-22:45	14	9	18	210			251
22:45-23:00	15	11	13	192			231

FLUJO DE PASAJEROS

VIA	:	Pte. R. Palma x Abancay
PUNTO	:	
SENTIDO	:	Norte - Sur
Fecha	:	

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVO	TOTAL
5:00-5:15	0	0	126	64		190
5:15-5:30	0	0	191	62		253
5:30-5:45	0	0	336	112		448
5:45-6:00	281	151	428	92		950
6:00-6:15	754	213	494	164		1625
6:15-6:30	622	451	505	185		1763
6:30-6:45	1428	455	427	250		2558
6:45-7:00	1523	475	607	468		3073
7:00-7:15	1888	681	530	533		3432
7:15-7:30	2290	890	478	908		4562
7:30-7:45	1799	784	482	1138		4163
7:45-8:00	2378	774	528	1612		5292
8:00-8:15	1854	932	497	1483		4766
8:15-8:30	1590	843	530	1348		4311
8:30-8:45	1494	705	543	1140		3882
8:45-9:00	1937	947	581	1562		5037
9:00-9:15	1838	1288	577	1487		5171
9:15-9:30	1744	1215	607	1202		4768
9:30-9:45	1478	700	510	717		3405
9:45-10:00	1645	782	458	672		3537
10:00-10:15	1750	787	521	850		3888
10:15-10:30	1278	483	387	676		2814
10:30-10:45	1080	398	500	657		2643
10:45-11:00	942	384	443	450		2199
11:00-11:15	677	536	258	416		1888
11:15-11:30	883	448	305	381		1817
11:30-11:45	468	472	310	494		1742
11:45-12:00	655	288	368	627		1938
12:00-12:15	710	325	401	251		1687
12:15-12:30	715	402	483	310		1910
12:30-12:45	632	328	328	284		1568
12:45-13:00	828	455	328	390		1999
13:00-13:15	546	434	239	486		1705
13:15-13:30	862	404	205	423		1994
13:30-13:45	830	548	218	496		2190
13:45-14:00	660	423	281	555		1919
14:00-14:15	672	558	252	453		1933
14:15-14:30	717	513	231	409		1970
14:30-14:45	804	483	240	427		1954
14:45-15:00	1001	740	335	381		2437
15:00-15:15	1055	640	295	563		2553
15:15-15:30	860	778	288	598		2523
15:30-15:45	688	503	158	488		1838
15:45-16:00	705	719	203	567		2194
16:00-16:15	726	888	273	510		2177
16:15-16:30	662	520	304	421		1907
16:30-16:45	655	485	207	604		1931
16:45-17:00	601	471	428	648		2148
17:00-17:15	634	512	381	538		2085
17:15-17:30	651	438	248	597		2130
17:30-17:45	888	415	324	711		2319
17:45-18:00	785	328	275	617		2013
18:00-18:15	538	387	324	418		1679
18:15-18:30	424	338	248	474		1479
18:30-18:45	738	455	311	943		2449
18:45-19:00	540	436	358	683		2017
19:00-19:15	587	388	252	567		1792
19:15-19:30	557	432	272	555		1816
19:30-19:45	442	355	203	609		1609
19:45-20:00	283	348	178	370		1191
20:00-20:15	268	377	225	376		1264
20:15-20:30	262	200	131	446		1039
20:30-20:45	523	121	118	500		1260
20:45-21:00	220	122	81	426		849
21:00-21:15	252	99	68	538		957
21:15-21:30	123	95	25	374		617
21:30-21:45	86	104	45	429		664
21:45-22:00	109	58	63	352		580
22:00-22:15	183	48	54	643		938
22:15-22:30	105	30	52	482		679
22:30-22:45	93	32	34	356		515
22:45-23:00	80	33	28	338		488

FEDJO PERIODIAR

VIA : Pte. R. Palma x Abancay
 PUNTO :
 SENTIDO : Sur - Norte
 Fecha :

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	CAMION	TOTAL
5:00-5:15		2	16	34			52
5:15-5:30	4	3	18	34			59
5:30-5:45	3	5	22	47			77
5:45-6:00	8	7	19	48		2	85
6:00-6:15	15	11	22	58		2	108
6:15-6:30	22	11	27	68		1	129
6:30-6:45	25	11	35	69		1	141
6:45-7:00	29	12	31	117		1	180
7:00-7:15	41	23	32	108		1	205
7:15-7:30	35	32	39	145		1	262
7:30-7:45	40	26	28	118			212
7:45-8:00	40	37	37	127		1	242
8:00-8:15	41	43	39	146			269
8:15-8:30	49	42	38	162		1	290
8:30-8:45	32	25	35	138		2	232
8:45-9:00	59	55	52	157		2	325
9:00-9:15	65	43	36	200		1	345
9:15-9:30	56	41	32	175			304
9:30-9:45	60	47	40	186			333
9:45-10:00	55	40	36	154			285
10:00-10:15	85	40	40	178		1	324
10:15-10:30	45	38	40	146		2	271
10:30-10:45	50	40	35	150		2	277
10:45-11:00	50	42	32	188		1	283
11:00-11:15	51	35	28	180		4	278
11:15-11:30	50	48	32	170		1	301
11:30-11:45	53	37	33	157			280
11:45-12:00	51	45	27	173		1	287
12:00-12:15	55	32	27	171		1	286
12:15-12:30	56	45	41	210		1	353
12:30-12:45	42	37	24	182			285
12:45-13:00	52	25	23	152			252
13:00-13:15	47	33	30	155		3	288
13:15-13:30	48	35	25	214		1	323
13:30-13:45	49	32	21	158			280
13:45-14:00	41	37	34	189		1	312
14:00-14:15	40	34	23	188			285
14:15-14:30	51	44	28	173			296
14:30-14:45	45	39	22	158			262
14:45-15:00	58	39	25	174			286
15:00-15:15	49	38	26	177			288
15:15-15:30	35	37	27	161			260
15:30-15:45	50	41	34	155			280
15:45-16:00	49	37	30	158			274
16:00-16:15	43	41	31	194			309
16:15-16:30	46	34	35	170			285
16:30-16:45	38	46	29	173			288
16:45-17:00	50	40	29	169			288
17:00-17:15	41	31	29	178			277
17:15-17:30	44	34	33	188			279
17:30-17:45	45	38	31	198			310
17:45-18:00	40	34	28	288			368
18:00-18:15	34	42	27	213			316
18:15-18:30	31	36	19	161			247
18:30-18:45	50	46	25	190			311
18:45-19:00	56	47	30	221			354
19:00-19:15	60	50	24	289			423
19:15-19:30	52	57	28	244			381
19:30-19:45	53	47	36	248			385
19:45-20:00	59	42	40	237			378
20:00-20:15	55	48	39	272			414
20:15-20:30	41	49	37	271			398
20:30-20:45	54	35	32	285			408
20:45-21:00	52	49	27	349			477
21:00-21:15	33	30	21	252			336
21:15-21:30	46	42	27	288			381
21:30-21:45	48	34	32	254			388
21:45-22:00	41	28	31	247			347
22:00-22:15	32	23	28	212			293
22:15-22:30	34	21	28	174			257
22:30-22:45	24	19	15	208			267
22:45-23:00	17	16	13	180			208

FLUJO DE PASAJEROS

VIA	:	Pte. R. Palma x Abancay
PUNTO	:	
SENTIDO	:	Sur - Norte
Fecha	:	

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	TOTAL
5:00-5:15	0	18	183	79		280
5:15-5:30	32	44	163	59		297
5:30-5:45	8	30	79	94		211
5:45-6:00	48	14	128	102		290
6:00-6:15	104	58	144	115		421
6:15-6:30	222	88	153	139		602
6:30-6:45	254	110	213	139		716
6:45-7:00	281	134	115	603		1133
7:00-7:15	308	255	81	198		820
7:15-7:30	328	388	111	285		1122
7:30-7:45	320	228	74	195		817
7:45-8:00	320	199	84	222		825
8:00-8:15	328	258	365	245		1216
8:15-8:30	381	252	189	234		1036
8:30-8:45	238	134	175	200		747
8:45-9:00	443	311	226	241		1221
9:00-9:15	581	258	180	307		1308
9:15-9:30	458	273	189	321		1221
9:30-9:45	453	282	201	338		1274
9:45-10:00	465	234	239	269		1207
10:00-10:15	545	248	311	344		1448
10:15-10:30	385	257	308	273		1223
10:30-10:45	471	273	304	278		1324
10:45-11:00	400	303	313	311		1327
11:00-11:15	471	259	283	242		1265
11:15-11:30	584	451	446	378		1857
11:30-11:45	792	414	315	290		1811
11:45-12:00	691	538	478	359		2064
12:00-12:15	784	469	415	350		1998
12:15-12:30	883	741	483	413		2530
12:30-12:45	671	418	220	381		1689
12:45-13:00	828	318	230	339		1715
13:00-13:15	1492	815	414	281		2782
13:15-13:30	908	702	251	428		2290
13:30-13:45	1054	477	245	296		2072
13:45-14:00	750	635	344	354		2083
14:00-14:15	580	629	183	299		1650
14:15-14:30	856	887	320	337		2380
14:30-14:45	785	570	279	297		1901
14:45-15:00	1107	773	205	313		2398
15:00-15:15	983	635	282	329		2229
15:15-15:30	652	708	281	317		1958
15:30-15:45	1142	607	448	310		2507
15:45-16:00	1210	604	330	314		2458
16:00-16:15	940	838	383	385		2504
16:15-16:30	1278	558	413	372		2617
16:30-16:45	993	733	357	342		2425
16:45-17:00	1310	855	431	322		2918
17:00-17:15	875	553	406	333		2167
17:15-17:30	680	628	483	306		2297
17:30-17:45	780	1008	454	389		2619
17:45-18:00	954	876	378	545		2751
18:00-18:15	1388	1086	375	426		3275
18:15-18:30	1237	1052	285	350		2924
18:30-18:45	2024	1142	375	432		3973
18:45-19:00	2539	1459	422	452		4872
19:00-19:15	2718	1416	350	745		5227
19:15-19:30	2710	1503	373	532		5118
19:30-19:45	2771	1182	480	559		4992
19:45-20:00	3284	1061	587	490		5422
20:00-20:15	1825	1288	585	302		4298
20:15-20:30	1862	1387	555	529		4433
20:30-20:45	2439	994	448	545		4528
20:45-21:00	2520	1421	385	787		5103
21:00-21:15	1595	881	315	605		3406
21:15-21:30	2112	1423	405	643		4583
21:30-21:45	2218	867	438	592		4216
21:45-22:00	1852	808	447	588		3675
22:00-22:15	1172	851	357	451		2831
22:15-22:30	1388	670	378	378		2814
22:30-22:45	1173	377	187	451		2188
22:45-23:00	1218	527	178	347		2268

FLUJO VEHICULAR

VIA : Pte.Ejercito x Rio Rimac
 PUNTO :
 SENTIDO : Norte - Sur
 Fecha :

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	CAMION	TOTAL
5:00-5:15	3	11	37	100		8	159
5:15-5:30	10	12	50	125		10	207
5:30-5:45	9	18	64	188		6	281
5:45-6:00	23	28	65	232		8	356
6:00-6:15	23	38	107	228		13	409
6:15-6:30	31	48	118	320		25	542
6:30-6:45	48	49	158	475		17	747
6:45-7:00	34	43	161	702		23	963
7:00-7:15	30	49	165	880		21	1145
7:15-7:30	19	33	136	844		17	1051
7:30-7:45	19	34	121	888		27	1089
7:45-8:00	27	43	124	910		21	1125
8:00-8:15	30	51	154	900		22	1157
8:15-8:30	37	65	127	785		29	1023
8:30-8:45	35	49	136	834		34	1088
8:45-9:00	34	74	128	778		38	1052
9:00-9:15	27	68	160	824		48	1125
9:15-9:30	29	64	180	820		44	1137
9:30-9:45	27	68	133	878		45	1149
9:45-10:00	24	48	107	845		58	1080
10:00-10:15	23	44	94	798		51	1010
10:15-10:30	18	55	97	901		40	1112
10:30-10:45	20	40	90	820		43	1013
10:45-11:00	20	41	75	750		43	929
11:00-11:15	20	48	108	882		47	903
11:15-11:30	19	32	87	715		57	910
11:30-11:45	19	42	112	724		58	955
11:45-12:00	18	30	91	828		62	829
12:00-12:15	18	39	91	836		66	850
12:15-12:30	17	41	87	885		51	881
12:30-12:45	20	38	98	840		34	828
12:45-13:00	24	38	89	617		48	816
13:00-13:15	17	40	90	603		52	802
13:15-13:30	20	45	87	575		34	761
13:30-13:45	22	44	104	645		51	868
13:45-14:00	18	42	97	675		48	880
14:00-14:15	23	26	41	230		10	330
14:15-14:30	32	33	57	310		35	467
14:30-14:45	29	38	71	200		7	345
14:45-15:00	31	32	67	310		12	452
15:00-15:15	27	45	80	470		44	666
15:15-15:30	27	38	81	380		33	539
15:30-15:45	30	39	81	530		164	844
15:45-16:00	28	47	83	420		31	609
16:00-16:15	27	53	91	420		29	620
16:15-16:30	29	49	89	485		33	685
16:30-16:45	26	43	70	313		14	466
16:45-17:00	36	41	74	507		34	682
17:00-17:15	39	44	87	421		40	631
17:15-17:30	31	43	95	480		28	675
17:30-17:45	30	40	60	542		42	714
17:45-18:00	42	43	106	838		43	872
18:00-18:15	34	45	88	585		28	758
18:15-18:30	30	33	88	424		24	599
18:30-18:45	36	37	89	588		29	757
18:45-19:00	31	45	90	485		31	682
19:00-19:15	28	45	86	352		14	523
19:15-19:30	34	49	84	580		12	739
19:30-19:45	27	42	86	348		21	524
19:45-20:00	30	32	69	293		18	441
20:00-20:15	29	29	71	350		21	500
20:15-20:30	22	15	80	470		11	598
20:30-20:45	11	24	73	420		19	547
20:45-21:00	12	22	72	270		14	380
21:00-21:15	18	20	65	307		13	423
21:15-21:30	10	17	66	340		5	438
21:30-21:45	9	18	69	387		5	469
21:45-22:00	9	18	58	227		8	318
22:00-22:15	8	21	50	201		5	285
22:15-22:30	8	20	42	190		4	264
22:30-22:45	8	12	39	190		6	255
22:45-23:00	6	9	35	170		5	225

FLUJO DE PASAJEROS	
VIA	Pte.Ejercito x Rio Rimac
PUNTO	
SENTIDO	Norte - Sur
Fecha	

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	TOTAL
5:00-5:15	16	193	393	188		780
5:15-5:30	179	252	565	302		1318
5:30-5:45	100	223	889	335		1348
5:45-6:00	469	444	740	613		2266
6:00-6:15	576	814	1198	497		3083
6:15-6:30	955	912	1365	754		3986
6:30-6:45	1617	1145	2018	1267		6047
6:45-7:00	1406	1149	2075	1812		6441
7:00-7:15	1394	1485	2155	2433		7467
7:15-7:30	922	1101	1984	1594		5601
7:30-7:45	1099	1187	1781	2072		6119
7:45-8:00	1628	1532	1860	2139		7159
8:00-8:15	1548	1705	2195	2175		7624
8:15-8:30	1760	1865	1772	1661		7058
8:30-8:45	1357	1226	1877	1630		6090
8:45-9:00	1295	1863	1786	1736		6680
9:00-9:15	918	1873	2197	2031		7019
9:15-9:30	999	1583	2550	1564		6696
9:30-9:45	951	1769	1948	2154		6821
9:45-10:00	860	1129	1589	1521		5099
10:00-10:15	766	1160	1317	1624		4867
10:15-10:30	614	1370	1214	2126		5324
10:30-10:45	587	1002	1263	1898		4650
10:45-11:00	534	951	1052	1358		3893
11:00-11:15	578	969	1528	1180		4252
11:15-11:30	373	689	1139	1210		3411
11:30-11:45	527	851	1507	1148		4033
11:45-12:00	487	829	1177	992		3265
12:00-12:15	345	709	1197	1172		3423
12:15-12:30	340	845	1180	1080		3445
12:30-12:45	517	828	1367	935		3645
12:45-13:00	652	767	1271	1053		3743
13:00-13:15	324	871	1265	1046		3506
13:15-13:30	452	989	1132	1088		3655
13:30-13:45	531	969	1499	1244		4243
13:45-14:00	528	940	1258	1605		4331
14:00-14:15	630	557	529	358		2074
14:15-14:30	974	778	707	509		2868
14:30-14:45	793	811	989	329		2802
14:45-15:00	891	592	770	465		2718
15:00-15:15	889	768	945	767		3369
15:15-15:30	825	814	959	608		2806
15:30-15:45	566	599	866	779		2830
15:45-16:00	850	878	1014	705		3045
16:00-16:15	458	940	801	823		2920
16:15-16:30	513	777	847	870		3207
16:30-16:45	486	860	602	534		2282
16:45-17:00	606	887	786	883		3142
17:00-17:15	960	609	793	779		3141
17:15-17:30	676	544	694	742		2656
17:30-17:45	563	707	405	828		2303
17:45-18:00	1068	889	783	718		3237
18:00-18:15	771	714	645	999		3129
18:15-18:30	750	449	905	874		2877
18:30-18:45	766	499	926	849		3059
18:45-19:00	576	613	741	952		2882
19:00-19:15	434	510	743	534		2221
19:15-19:30	401	552	888	889		2530
19:30-19:45	392	423	595	613		2023
19:45-20:00	392	250	378	391		1411
20:00-20:15	322	227	543	609		1701
20:15-20:30	257	131	465	564		1417
20:30-20:45	164	132	470	600		1418
20:45-21:00	150	132	397	388		1067
21:00-21:15	131	94	401	553		1179
21:15-21:30	121	124	314	499		1058
21:30-21:45	96	102	389	489		1076
21:45-22:00	131	107	347	312		897
22:00-22:15	80	87	293	241		701
22:15-22:30	84	144	219	238		685
22:30-22:45	53	72	174	238		537
22:45-23:00	60	54	181	227		512

FLUJO VEHICULAR

VIA : Pte.Ejercito x Rio Rimac
 PUNTO :
 SENTIDO : Sur - Norte
 Fecha :

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	CAMION	TOTAL
5:00-5:15	1	5	20	35		1	62
5:15-5:30	2	2	20	45		11	80
5:30-5:45	8	6	22	35		0	69
5:45-6:00	5	6	21	47		4	83
6:00-6:15	15	8	27	75		10	135
6:15-6:30	21	19	43	194		8	283
6:30-6:45	20	13	60	148		17	258
6:45-7:00	16	23	70	216		19	344
7:00-7:15	27	36	93	190		20	366
7:15-7:30	25	44	115	196		43	423
7:30-7:45	16	33	97	411		20	577
7:45-8:00	29	41	97	270		34	471
8:00-8:15	19	47	86	330		40	522
8:15-8:30	27	42	124	415		40	648
8:30-8:45	29	40	116	305		38	526
8:45-9:00	24	50	98	310		33	516
9:00-9:15	38	56	124	290		41	537
9:15-9:30	28	50	105	340		24	545
9:30-9:45	32	40	112	345		31	560
9:45-10:00	23	45	109	434		48	657
10:00-10:15	35	45	115	380		28	603
10:15-10:30	30	47	106	435		42	660
10:30-10:45	23	41	92	450		45	651
10:45-11:00	27	44	88	380		52	591
11:00-11:15	25	35	75	352		24	511
11:15-11:30	23	42	79	390		56	590
11:30-11:45	28	43	84	330		24	508
11:45-12:00	23	31	85	310		43	482
12:00-12:15	18	41	88	290		13	451
12:15-12:30	28	35	73	250		23	407
12:30-12:45	23	25	66	320		33	467
12:45-13:00	24	26	65	260		27	402
13:00-13:15	35	51	78	380		21	585
13:15-13:30	35	46	98	360		25	564
13:30-13:45	19	37	61	310		22	449
13:45-14:00	32	40	83	300		25	480
14:00-14:15	34	30	56	430		73	623
14:15-14:30	27	33	86	405		78	627
14:30-14:45	40	27	92	441		77	677
14:45-15:00	20	43	94	520		73	750
15:00-15:15	21	38	71	515		85	710
15:15-15:30	22	48	83	470		60	683
15:30-15:45	23	32	73	450		48	626
15:45-16:00	21	35	69	522		50	697
16:00-16:15	21	30	80	490		58	679
16:15-16:30	25	36	83	410		49	603
16:30-16:45	18	30	78	466		63	653
16:45-17:00	25	34	82	484		40	665
17:00-17:15	17	32	78	524		66	717
17:15-17:30	30	38	84	469		51	672
17:30-17:45	20	27	91	488		68	692
17:45-18:00	18	27	92	563		60	760
18:00-18:15	20	36	95	596		58	803
18:15-18:30	21	37	100	612		78	846
18:30-18:45	25	42	93	633		41	834
18:45-19:00	28	40	95	726		50	939
19:00-19:15	25	36	105	734		54	954
19:15-19:30	28	30	83	781		83	1003
19:30-19:45	24	35	75	746		55	935
19:45-20:00	23	32	62	723		48	869
20:00-20:15	20	35	71	770		32	928
20:15-20:30	15	32	78	810		52	965
20:30-20:45	16	37	94	880		31	1050
20:45-21:00	21	27	86	821		26	980
21:00-21:15	20	27	71	709		20	847
21:15-21:30	16	34	72	669		20	811
21:30-21:45	19	23	79	571		38	727
21:45-22:00	13	24	58	561		28	684
22:00-22:15	14	23	55	418		19	527
22:15-22:30	11	21	50	422		17	521
22:30-22:45	10	19	45	431		13	519
22:45-23:00	9	26	41	395		15	486

FLUJO DE PASAJEROS

VIA :	Pte.Ejercito x Rio Rimac
PUNTO :	
SENTIDO :	Sur - Norte
Fecha :	

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	TOTAL
5:00-5:15	0	23	46	48		117
5:15-5:30	0	6	62	78		148
5:30-5:45	41	36	107	81		245
5:45-6:00	20	36	149	85		290
6:00-6:15	123	77	183	131		514
6:15-6:30	181	183	275	337		978
6:30-6:45	248	78	260	252		939
6:45-7:00	255	130	277	354		1018
7:00-7:15	380	368	374	286		1388
7:15-7:30	540	516	515	320		1891
7:30-7:45	445	446	522	665		2078
7:45-8:00	684	560	720	411		2375
8:00-8:15	536	596	517	468		2117
8:15-8:30	464	448	655	586		2153
8:30-8:45	385	405	589	430		1799
8:45-9:00	444	428	440	438		1751
9:00-9:15	381	585	543	368		1877
9:15-9:30	326	556	481	534		1899
9:30-9:45	451	310	382	547		1690
9:45-10:00	317	413	516	680		1928
10:00-10:15	580	514	652	632		2389
10:15-10:30	437	594	804	760		2595
10:30-10:45	481	493	611	755		2350
10:45-11:00	365	596	733	652		2348
11:00-11:15	484	629	648	589		2341
11:15-11:30	408	615	640	679		2343
11:30-11:45	507	740	698	550		2495
11:45-12:00	488	514	644	548		2204
12:00-12:15	594	648	750	542		2535
12:15-12:30	728	651	630	392		2402
12:30-12:45	557	637	588	517		2299
12:45-13:00	657	1772	948	448		3825
13:00-13:15	1286	1056	867	684		3893
13:15-13:30	1407	1085	1054	582		4138
13:30-13:45	833	924	654	526		2937
13:45-14:00	1080	988	883	510		3459
14:00-14:15	1188	875	644	874		3502
14:15-14:30	865	858	1068	885		3676
14:30-14:45	1240	1108	1144	1043		4535
14:45-15:00	583	1185	1017	1160		3865
15:00-15:15	560	1290	836	1188		3864
15:15-15:30	552	1401	1055	988		3996
15:30-15:45	860	891	967	984		3522
15:45-16:00	614	1014	712	1082		3422
16:00-16:15	888	937	847	1042		3494
16:15-16:30	646	973	873	882		3374
16:30-16:45	471	834	851	979		3135
16:45-17:00	1000	883	858	970		3811
17:00-17:15	687	873	943	1205		3698
17:15-17:30	1222	986	930	872		4120
17:30-17:45	982	788	1089	1024		3821
17:45-18:00	784	707	1105	1173		3748
18:00-18:15	830	990	1106	1304		4230
18:15-18:30	1186	1086	1185	1193		4650
18:30-18:45	1439	1243	1123	1269		5074
18:45-19:00	1712	1240	1210	1535		5697
19:00-19:15	1488	989	1366	1455		5278
19:15-19:30	1458	938	1018	1584		5011
19:30-19:45	1103	1038	922	1436		4499
19:45-20:00	1218	959	720	1528		4426
20:00-20:15	837	1143	931	1494		4405
20:15-20:30	1211	875	1009	1784		4859
20:30-20:45	781	1088	1158	1784		4729
20:45-21:00	937	861	1003	1684		4485
21:00-21:15	986	784	808	1406		3984
21:15-21:30	638	1027	758	1317		3741
21:30-21:45	966	630	901	1161		3658
21:45-22:00	620	652	729	1158		3159
22:00-22:15	883	889	689	902		2943
22:15-22:30	367	816	626	866		2475
22:30-22:45	283	573	567	828		2332
22:45-23:00	251	716	519	835		2321

FLUJO VEHICULAR

VIA : De Los Héroes x Estación Atocongo
 TRAMO :
 SENTIDO : Norte - Sur
 Fecha :

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	CAMION	TOTAL
5:00-5:15	1	5	3	20		5	34
5:15-5:30	3	9	9	40		3	64
5:30-5:45	1	18	23	89		4	113
5:45-6:00	6	17	16	77		1	117
6:00-6:15	19	19	34	97		1	169
6:15-6:30	10	27	43	124		11	215
6:30-6:45	18	26	54	145		7	250
6:45-7:00	16	29	75	143		6	270
7:00-7:15	14	45	84	148		9	299
7:15-7:30	26	49	108	204		18	405
7:30-7:45	24	53	117	308		21	523
7:45-8:00	22	55	134	389		18	618
8:00-8:15	23	69	145	350		18	605
8:15-8:30	33	66	138	308		28	573
8:30-8:45	33	87	156	288		25	549
8:45-9:00	30	58	142	244		31	505
9:00-9:15	28	83	130	292		29	551
9:15-9:30	36	74	141	330		15	596
9:30-9:45	46	97	123	601		45	912
9:45-10:00	38	80	115	479		29	741
10:00-10:15	45	97	107	578		31	848
10:15-10:30	46	74	105	333		36	594
10:30-10:45	33	96	100	305		37	571
10:45-11:00	51	86	87	273		36	533
11:00-11:15	42	89	101	246		31	498
11:15-11:30	46	82	85	223		10	426
11:30-11:45	52	73	118	312		44	597
11:45-12:00	23	52	56	242		22	395
12:00-12:15	29	49	47	228		32	385
12:15-12:30	39	56	86	262		29	472
12:30-12:45	38	73	72	304		36	523
12:45-13:00	34	55	55	211		16	371
13:00-13:15	35	58	84	182		46	403
13:15-13:30	47	68	95	287		43	540
13:30-13:45	65	79	110	289		43	586
13:45-14:00	42	72	96	280		43	533
14:00-14:15	31	50	41	233		8	363
14:15-14:30	28	52	47	230		13	370
14:30-14:45	29	48	75	258		26	436
14:45-15:00	35	60	62	250		31	438
15:00-15:15	40	62	73	271		45	491
15:15-15:30	62	64	78	298		29	531
15:30-15:45	30	79	67	318		39	532
15:45-16:00	24	64	55	273		38	454
16:00-16:15	39	59	79	298		45	507
16:15-16:30	29	79	65	252		36	461
16:30-16:45	29	56	75	317		33	510
16:45-17:00	38	43	80	263		43	467
17:00-17:15	36	62	55	310		13	476
17:15-17:30	39	56	69	262		47	473
17:30-17:45	34	66	70	280		37	497
17:45-18:00	26	52	75	296		41	490
18:00-18:15	38	46	95	359		49	587
18:15-18:30	35	60	95	388		43	619
18:30-18:45	29	47	89	392		32	599
18:45-19:00	40	67	95	499		34	735
19:00-19:15	41	89	100	301		44	555
19:15-19:30	42	71	119	498		28	758
19:30-19:45	30	65	98	457		34	682
19:45-20:00	46	78	123	469		27	741
20:00-20:15	39	66	115	493		23	736
20:15-20:30	36	82	88	481		24	689
20:30-20:45	28	89	83	481		23	684
20:45-21:00	34	78	88	445		14	660
21:00-21:15	33	68	97	389		24	609
21:15-21:30	33	60	62	369		19	563
21:30-21:45	28	58	62	445		12	625
21:45-22:00	26	67	60	388		11	552
22:00-22:15	22	55	84	407		15	583
22:15-22:30	16	86	55	389		6	554
22:30-22:45	21	82	68	307		6	484
22:45-23:00	16	43	50	268		9	386

FUJO DE PASAJEROS

VIA	:	De Los Héroes x Estación Atocongo
PUNTO	:	
SENTIDO	:	Norte - Sur
Fecha	:	

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVO	TOTAL
5:00-5:15	8	38	45	36		125
5:15-5:30	12	54	47	78		191
5:30-5:45	8	81	87	89		225
5:45-6:00	41	42	36	118		237
6:00-6:15	85	80	97	156		398
6:15-6:30	23	174	229	198		624
6:30-6:45	204	202	378	280		1064
6:45-7:00	125	248	365	281		1019
7:00-7:15	221	410	803	329		1563
7:15-7:30	251	348	809	342		1740
7:30-7:45	331	514	987	578		2408
7:45-8:00	389	681	1294	757		3131
8:00-8:15	277	686	967	588		2510
8:15-8:30	441	615	1066	525		2647
8:30-8:45	807	742	992	423		2764
8:45-9:00	411	587	934	393		2305
9:00-9:15	282	686	980	458		2388
9:15-9:30	378	736	801	490		2403
9:30-9:45	378	781	585	922		2656
9:45-10:00	431	643	558	740		2372
10:00-10:15	478	838	600	860		2776
10:15-10:30	508	815	806	501		2230
10:30-10:45	393	886	600	487		2376
10:45-11:00	548	687	656	430		2331
11:00-11:15	481	680	550	389		2110
11:15-11:30	636	685	626	352		2299
11:30-11:45	770	789	899	452		2890
11:45-12:00	484	488	466	389		1807
12:00-12:15	478	477	443	405		1801
12:15-12:30	424	810	478	383		1895
12:30-12:45	489	719	559	432		2179
12:45-13:00	525	645	428	309		1807
13:00-13:15	868	582	872	297		2229
13:15-13:30	1283	952	886	518		3637
13:30-13:45	1400	1172	878	448		3898
13:45-14:00	685	1048	987	500		3200
14:00-14:15	1080	820	488	431		2799
14:15-14:30	1010	872	501	428		2809
14:30-14:45	758	891	920	501		3070
14:45-15:00	1171	1173	731	468		3543
15:00-15:15	949	1020	820	515		3304
15:15-15:30	1434	851	885	588		3658
15:30-15:45	742	1388	790	607		3528
15:45-16:00	757	1014	773	582		3126
16:00-16:15	783	843	844	488		3058
16:15-16:30	651	1221	815	482		3179
16:30-16:45	784	822	857	557		3000
16:45-17:00	892	1078	987	498		3553
17:00-17:15	914	1302	1027	589		3812
17:15-17:30	1236	1185	904	528		3851
17:30-17:45	1155	1730	1000	477		4362
17:45-18:00	1032	1422	1288	472		4215
18:00-18:15	1804	1420	1410	723		5157
18:15-18:30	1336	1751	1380	857		5124
18:30-18:45	1673	1381	1283	753		5070
18:45-19:00	2388	1888	1425	939		6741
19:00-19:15	2358	2028	1482	598		6478
19:15-19:30	2243	2087	1771	1040		7141
19:30-19:45	1855	1838	1440	870		6004
19:45-20:00	2346	2245	1820	948		7357
20:00-20:15	1828	1888	1888	1020		6404
20:15-20:30	1585	1747	1511	722		5565
20:30-20:45	1182	1840	1123	992		4917
20:45-21:00	1524	1838	1181	827		5471
21:00-21:15	1241	1883	1334	752		5010
21:15-21:30	1391	1414	1068	678		4549
21:30-21:45	934	1439	1046	774		4193
21:45-22:00	1021	1754	845	729		4349
22:00-22:15	894	1255	979	931		4059
22:15-22:30	777	2074	785	848		4484
22:30-22:45	827	2238	838	528		4434
22:45-23:00	842	1146	534	470		2992

FLUJO DE PASAJEROS

VIA : De Los Héroes x Estación Atocongo
 TRAMO :
 SENTIDO : Sur - Norte
 Fecha :

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	TOTAL
5:00-5:15	88	0	104	106		278
5:15-5:30	91	53	113	61		318
5:30-5:45	186	190	246	100		702
5:45-6:00	410	528	453	205		1596
6:00-6:15	408	1057	870	202		2538
6:15-6:30	628	1180	1587	273		3648
6:30-6:45	750	1508	1699	330		4287
6:45-7:00	889	2073	2037	383		5362
7:00-7:15	1252	2832	2709	812		7205
7:15-7:30	1822	3466	2580	881		8749
7:30-7:45	1781	2393	2070	848		7090
7:45-8:00	1566	2026	1914	813		6319
8:00-8:15	1414	1973	2081	742		6220
8:15-8:30	1014	1159	1164	602		3939
8:30-8:45	1467	1558	1792	610		5427
8:45-9:00	888	1567	1498	614		4568
9:00-9:15	852	1611	1410	518		4392
9:15-9:30	1031	1260	1254	640		4185
9:30-9:45	930	2004	1241	484		4639
9:45-10:00	749	902	1473	565		3689
10:00-10:15	701	1052	738	575		3064
10:15-10:30	686	844	736	621		2897
10:30-10:45	709	647	662	552		2570
10:45-11:00	724	1108	762	533		3128
11:00-11:15	402	608	704	453		2167
11:15-11:30	537	902	687	448		2572
11:30-11:45	478	830	697	384		2387
11:45-12:00	438	785	711	373		2308
12:00-12:15	850	859	675	375		2559
12:15-12:30	562	898	650	433		2544
12:30-12:45	688	682	671	516		2557
12:45-13:00	698	649	578	481		2407
13:00-13:15	581	882	611	410		2494
13:15-13:30	528	744	620	363		2255
13:30-13:45	586	700	644	425		2355
13:45-14:00	659	768	543	428		2398
14:00-14:15	298	1031	519	323		2171
14:15-14:30	427	1254	861	290		2832
14:30-14:45	403	1125	877	365		2570
14:45-15:00	353	1228	941	246		2769
15:00-15:15	284	1361	1099	397		3141
15:15-15:30	308	1093	716	388		2516
15:30-15:45	324	1001	816	314		2455
15:45-16:00	238	1014	813	348		2411
16:00-16:15	288	1018	871	324		2491
16:15-16:30	436	876	765	308		2375
16:30-16:45	321	912	779	315		2327
16:45-17:00	442	983	867	288		2358
17:00-17:15	277	1008	787	297		2370
17:15-17:30	457	1134	896	312		2799
17:30-17:45	393	774	672	269		2108
17:45-18:00	373	988	777	286		2432
18:00-18:15	268	937	838	361		2404
18:15-18:30	277	925	850	302		2354
18:30-18:45	227	976	1226	372		2801
18:45-19:00	323	804	671	319		2117
19:00-19:15	173	708	788	381		2050
19:15-19:30	189	537	824	323		1853
19:30-19:45	167	623	552	337		1679
19:45-20:00	124	553	485	334		1496
20:00-20:15	173	0	450	352		975
20:15-20:30	168	0	382	386		936
20:30-20:45	121	430	392	252		1195
20:45-21:00	158	443	453	268		1322
21:00-21:15	132	470	471	341		1414
21:15-21:30	135	467	433	268		1301
21:30-21:45	75	365	539	254		1233
21:45-22:00	48	390	286	215		939
22:00-22:15	125	312	263	190		890
22:15-22:30	106	194	240	140		680
22:30-22:45	101	283	312	171		867
22:45-23:00	34	143	139	159		475

FLUJO VEHICULAR

VIA : De Los Héroes x Estación Atocongo
 TRAMO :
 SENTIDO : Sur - Norte
 Fecha :

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	CAMION	TOTAL
5:00-5:15	4	6	9	52			81
5:15-5:30	6	5	12	33			56
5:30-5:45	9	9	13	45			76
5:45-6:00	11	29	38	92		2	172
6:00-6:15	13	53	58	122		10	264
6:15-6:30	17	50	114	183		8	352
6:30-6:45	19	67	121	195		16	420
6:45-7:00	22	72	151	217		11	473
7:00-7:15	24	91	189	330		12	646
7:15-7:30	33	119	174	460		22	808
7:30-7:45	36	80	138	410		18	682
7:45-8:00	33	79	136	420		23	691
8:00-8:15	35	83	147	390		18	673
8:15-8:30	24	44	83	360		19	530
8:30-8:45	40	64	124	355		17	600
8:45-9:00	26	69	108	320		23	547
9:00-9:15	30	81	113	270		19	513
9:15-9:30	36	66	91	340		27	560
9:30-9:45	32	109	97	250		24	512
9:45-10:00	31	54	116	300		23	524
10:00-10:15	34	51	59	320		23	487
10:15-10:30	27	57	69	343		14	510
10:30-10:45	31	45	63	310		20	469
10:45-11:00	33	69	72	290		20	484
11:00-11:15	20	43	60	260		19	401
11:15-11:30	30	70	68	250		22	440
11:30-11:45	27	60	69	200		11	366
11:45-12:00	23	60	69	190		16	358
12:00-12:15	32	58	73	210		17	390
12:15-12:30	29	63	63	240		19	412
12:30-12:45	29	49	71	260		21	430
12:45-13:00	26	44	54	285		15	426
13:00-13:15	27	60	60	220		16	383
13:15-13:30	26	47	67	210		17	367
13:30-13:45	26	45	60	240		22	393
13:45-14:00	26	47	48	240		19	380
14:00-14:15	16	52	54	174		20	316
14:15-14:30	15	62	74	169		20	339
14:30-14:45	17	68	65	198		11	359
14:45-15:00	16	62	67	145		16	346
15:00-15:15	11	67	99	205		17	419
15:15-15:30	12	76	77	220		20	405
15:30-15:45	10	65	91	170		19	365
15:45-16:00	17	77	80	180		15	369
16:00-16:15	15	74	89	175		9	361
16:15-16:30	24	67	90	180		6	367
16:30-16:45	19	72	99	170		20	380
16:45-17:00	20	81	97	160		11	369
17:00-17:15	19	73	78	170		18	357
17:15-17:30	19	67	117	170		14	407
17:30-17:45	15	66	99	175		5	359
17:45-18:00	13	81	100	165		7	366
18:00-18:15	19	63	94	190		5	371
18:15-18:30	15	60	95	180		20	370
18:30-18:45	15	73	118	190		9	403
18:45-19:00	16	62	70	170		7	325
19:00-19:15	14	68	87	200		1	380
19:15-19:30	13	56	101	185		5	360
19:30-19:45	15	62	78	180		2	337
19:45-20:00	14	56	62	175		3	310
20:00-20:15	13	53	60	180		2	308
20:15-20:30	12	46	58	185		2	303
20:30-20:45	11	42	58	190		1	300
20:45-21:00	10	51	64	160		1	286
21:00-21:15	11	59	67	200		2	339
21:15-21:30	12	38	50	170		4	274
21:30-21:45	6	41	63	155		3	268
21:45-22:00	4	43	53	130		3	233
22:00-22:15	7	32	43	110		1	193
22:15-22:30	7	22	36	80			155
22:30-22:45	6	27	33	100			166
22:45-23:00	2	16	19	95			132

FLUJO DE PASAJEROS

VIA	: Av. Nicolás Ayllón
PUNTO	:
SENTIDO	: Oeste - Este
Fecha	:

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	TOTAL
5:00-5:15	0	36	143	92		271
5:15-5:30	0	24	128	90		242
5:30-5:45	0	100	251	77		428
5:45-6:00	0	84	383	117		584
6:00-6:15	50	47	238	123		458
6:15-6:30	58	267	644	189		1138
6:30-6:45	315	829	1240	174		2558
6:45-7:00	683	886	1594	222		3385
7:00-7:15	447	884	1407	214		2752
7:15-7:30	79	1018	1569	216		2882
7:30-7:45	886	1240	1875	192		4193
7:45-8:00	856	1462	2142	357		4817
8:00-8:15	623	1097	2692	360		4772
8:15-8:30	872	1115	1269	394		3450
8:30-8:45	251	1291	1206	251		2999
8:45-9:00	729	1049	1384	268		3431
9:00-9:15	244	820	1390	319		2773
9:15-9:30	270	1120	1448	366		3204
9:30-9:45	302	1009	1258	281		2850
9:45-10:00	237	825	1106	279		2447
10:00-10:15	237	789	935	340		2301
10:15-10:30	402	765	875	358		2400
10:30-10:45	345	786	860	348		2339
10:45-11:00	317	857	987	256		2417
11:00-11:15	412	963	893	274		2342
11:15-11:30	231	737	837	273		2078
11:30-11:45	287	1654	1333	357		3631
11:45-12:00	159	1550	1323	343		3375
12:00-12:15	160	691	564	283		1698
12:15-12:30	154	849	915	301		2219
12:30-12:45	212	1548	1755	246		3761
12:45-13:00	127	941	732	243		2043
13:00-13:15	264	808	741	219		1826
13:15-13:30	197	1296	1001	178		2673
13:30-13:45	510	850	942	190		2492
13:45-14:00	376	751	724	213		2064
14:00-14:15	88	1629	1292	413		3422
14:15-14:30	392	2751	1546	348		5037
14:30-14:45	256	2415	1182	422		4275
14:45-15:00	510	2768	1812	388		5430
15:00-15:15	790	2379	1283	442		4894
15:15-15:30	425	1408	1059	396		3288
15:30-15:45	208	1035	769	527		2539
15:45-16:00	100	1253	1310	432		3095
16:00-16:15	218	1718	1847	413		4194
16:15-16:30	78	1269	1273	413		3033
16:30-16:45	264	1238	1418	373		3293
16:45-17:00	0	1307	1339	466		3112
17:00-17:15	139	1194	1852	474		3659
17:15-17:30	69	1310	1698	432		3509
17:30-17:45	299	930	1337	451		2907
17:45-18:00	281	990	1967	360		3598
18:00-18:15	205	1925	3340	389		5859
18:15-18:30	214	1114	1375	442		3145
18:30-18:45	187	1613	1603	375		3778
18:45-19:00	327	2287	2273	434		5321
19:00-19:15	360	3139	2652	463		6614
19:15-19:30	308	2741	2217	580		5846
19:30-19:45	297	3576	2463	345		6681
19:45-20:00	488	3537	2801	459		7285
20:00-20:15	506	2562	2799	452		6319
20:15-20:30	382	3163	2905	440		6890
20:30-20:45	281	2469	3013	421		6184
20:45-21:00	174	2489	2333	368		5364
21:00-21:15	113	1436	1727	343		3619
21:15-21:30	224	1184	1367	512		3307
21:30-21:45	231	1265	1512	328		3334
21:45-22:00	112	1905	1855	405		4277
22:00-22:15	230	1198	1350	393		3171
22:15-22:30	200	2091	948	295		3534
22:30-22:45	0	1184	1084	321		2589
22:45-23:00	152	1046	2132	230		3560

FLUJO VEHICULAR

VIA : Av. Nicolás Aylón
 PUNTO :
 SENTIDO : Oeste - Este
 Fecha :

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	CAMION	TOTAL
5:00-5:15	1	8	25	61		12	107
5:15-5:30	4	7	24	63		7	105
5:30-5:45	1	11	39	50		21	122
5:45-6:00	4	12	35	66		11	130
6:00-6:15	6	9	27	70		10	122
6:15-6:30	12	17	60	90		13	192
6:30-6:45	31	45	107	90		8	281
6:45-7:00	24	56	125	100		26	331
7:00-7:15	28	50	130	102		31	339
7:15-7:30	14	63	150	110		38	375
7:30-7:45	31	65	160	93		29	378
7:45-8:00	30	71	188	156		29	454
8:00-8:15	22	80	204	170		52	508
8:15-8:30	30	85	105	183		32	415
8:30-8:45	12	84	106	130		21	353
8:45-9:00	31	67	133	148		65	444
9:00-9:15	18	70	170	170		57	485
9:15-9:30	15	70	158	180		50	473
9:30-9:45	20	68	132	136		32	388
9:45-10:00	17	65	145	180		54	461
10:00-10:15	18	69	122	175		72	456
10:15-10:30	23	60	116	178		57	434
10:30-10:45	27	62	113	166		48	414
10:45-11:00	26	69	111	124		38	367
11:00-11:15	29	70	82	130		30	341
11:15-11:30	15	46	80	124		26	291
11:30-11:45	16	106	132	160		55	469
11:45-12:00	10	105	118	180		44	457
12:00-12:15	12	50	60	146		50	318
12:15-12:30	11	60	95	158		34	358
12:30-12:45	12	120	195	129		37	493
12:45-13:00	12	67	80	118		29	306
13:00-13:15	15	47	90	112		39	293
13:15-13:30	11	75	107	99		35	327
13:30-13:45	17	46	75	94		37	269
13:45-14:00	12	41	65	109		48	275
14:00-14:15	7	90	165	269		71	602
14:15-14:30	19	165	190	246		75	695
14:30-14:45	13	145	152	227		72	609
14:45-15:00	16	153	223	172		59	623
15:00-15:15	24	151	172	200		52	599
15:15-15:30	20	85	150	226		51	532
15:30-15:45	20	88	104	290		54	536
15:45-16:00	16	80	130	249		53	528
16:00-16:15	13	130	190	236		59	628
16:15-16:30	13	113	123	215		66	532
16:30-16:45	20	110	150	207		50	537
16:45-17:00	21	130	173	280		62	666
17:00-17:15	12	114	156	264		58	604
17:15-17:30	15	115	154	252		66	602
17:30-17:45	35	90	115	240		64	534
17:45-18:00	42	101	157	212		70	582
18:00-18:15	35	201	255	198		57	746
18:15-18:30	20	83	115	240		54	512
18:30-18:45	17	80	120	206		63	486
18:45-19:00	19	101	160	226		48	551
19:00-19:15	13	130	190	240		60	633
19:15-19:30	22	120	152	317		51	662
19:30-19:45	18	150	175	236		29	608
19:45-20:00	25	180	205	253		33	676
20:00-20:15	27	118	195	282		37	659
20:15-20:30	39	153	214	242		48	696
20:30-20:45	19	125	225	254		24	647
20:45-21:00	13	128	200	210		25	576
21:00-21:15	8	90	148	195		34	477
21:15-21:30	16	75	115	256		14	476
21:30-21:45	21	83	130	201		12	447
21:45-22:00	21	113	165	215		14	528
22:00-22:15	23	95	135	194		12	449
22:15-22:30	16	154	85	180		6	441
22:30-22:45	11	75	95	166		14	361
22:45-23:00	19	85	183	148		13	428

FLUJO DE PASAJEROS

VIA : Av. Nicolás Ayllón
 PUNTO :
 SENTIDO : Este - Oeste
 Fecha :

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVO	TOTAL
5:00-5:15	304	147	417	211		1079
5:15-5:30	119	282	883	309		1373
5:30-5:45	70	287	587	147		1101
5:45-6:00	188	581	549	378		1684
6:00-6:15	89	573	880	285		1827
6:15-6:30	104	757	1353	381		2575
6:30-6:45	459	1366	938	356		3119
6:45-7:00	168	1325	1673	312		3478
7:00-7:15	418	1823	1963	885		4689
7:15-7:30	275	2478	1054	446		4253
7:30-7:45	321	2482	1742	487		5032
7:45-8:00	798	3215	2009	318		6339
8:00-8:15	1415	3074	2225	725		7439
8:15-8:30	358	1822	1791	807		4778
8:30-8:45	510	2121	1235	483		4929
8:45-9:00	224	1847	2208	804		5083
9:00-9:15	228	1478	1829	338		3867
9:15-9:30	318	1580	1348	530		3774
9:30-9:45	342	1355	1425	448		3570
9:45-10:00	320	1844	1204	533		3701
10:00-10:15	515	1450	1210	458		3631
10:15-10:30	171	1218	1228	381		2879
10:30-10:45	188	1804	1222	504		3496
10:45-11:00	35	1115	890	554		2594
11:00-11:15	152	914	815	487		2368
11:15-11:30	100	904	840	515		2159
11:30-11:45	271	775	744	487		2277
11:45-12:00	225	446	435	411		1517
12:00-12:15	208	558	488	581		1833
12:15-12:30	280	841	772	442		2335
12:30-12:45	247	838	558	508		2147
12:45-13:00	221	1178	885	442		2504
13:00-13:15	170	487	452	283		1392
13:15-13:30	208	858	801	385		1848
13:30-13:45	245	783	542	385		1955
13:45-14:00	128	1341	787	301		2535
14:00-14:15	211	745	944	791		2691
14:15-14:30	450	888	800	724		2960
14:30-14:45	307	977	894	911		2879
14:45-15:00	387	1483	880	423		3283
15:00-15:15	398	1070	737	613		2819
15:15-15:30	233	1054	704	571		2562
15:30-15:45	180	1095	982	588		2825
15:45-16:00	213	978	1050	629		2868
16:00-16:15	322	788	814	587		2491
16:15-16:30	243	813	717	744		2517
16:30-16:45	127	892	808	759		2684
16:45-17:00	209	825	879	632		2345
17:00-17:15	323	853	884	749		2689
17:15-17:30	407	1148	1080	875		3310
17:30-17:45	452	1180	1358	758		3728
17:45-18:00	309	1295	1053	571		3228
18:00-18:15	311	1158	1252	585		3306
18:15-18:30	402	1457	1155	751		3765
18:30-18:45	503	1531	1311	574		3919
18:45-19:00	480	1381	1789	577		4217
19:00-19:15	317	1398	1459	440		3611
19:15-19:30	338	1435	1200	428		3401
19:30-19:45	325	1870	1255	383		3613
19:45-20:00	320	903	1041	452		2716
20:00-20:15	487	753	1343	403		2986
20:15-20:30	482	1087	1081	473		3113
20:30-20:45	239	878	1049	502		2668
20:45-21:00	285	772	982	415		2434
21:00-21:15	282	857	744	384		2077
21:15-21:30	284	708	883	280		1968
21:30-21:45	275	944	887	317		2403
21:45-22:00	182	830	841	451		2104
22:00-22:15	238	1010	870	322		2439
22:15-22:30	193	1238	881	335		2658
22:30-22:45	54	820	880	374		1908
22:45-23:00	184	488	801	385		1858

FLUJO VEHICULAR

VIA : Av. Nicolás Aylón
 PUNTO :
 SENTIDO : Este - Oeste
 Fecha :

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	CAMION	TOTAL
5:00-5:15	13	8	35	84		37	177
5:15-5:30	21	20	55	113		14	223
5:30-5:45	10	35	87	75		19	206
5:45-6:00	9	45	65	118		15	250
6:00-6:15	14	50	73	100		17	254
6:15-6:30	18	65	140	123		22	368
6:30-6:45	37	80	122	144		21	404
6:45-7:00	18	65	180	149		29	441
7:00-7:15	18	59	194	177		34	472
7:15-7:30	24	95	105	173		19	416
7:30-7:45	23	90	150	200		26	489
7:45-8:00	35	120	165	200		24	544
8:00-8:15	55	125	193	360		48	781
8:15-8:30	20	95	173	446		57	791
8:30-8:45	29	90	130	270		49	567
8:45-9:00	11	90	185	356		56	678
9:00-9:15	18	95	180	260		63	594
9:15-9:30	19	105	155	258		60	597
9:30-9:45	33	80	150	231		66	560
9:45-10:00	16	87	125	290		78	596
10:00-10:15	22	75	121	234		50	502
10:15-10:30	11	92	135	212		43	483
10:30-10:45	10	93	145	297		66	611
10:45-11:00	11	95	118	338		56	618
11:00-11:15	12	65	100	270		87	514
11:15-11:30	8	71	80	275		70	504
11:30-11:45	20	55	85	266		45	471
11:45-12:00	18	15	22	229		56	341
12:00-12:15	17	35	40	312		70	474
12:15-12:30	20	25	20	246		66	377
12:30-12:45	14	20	36	300		46	416
12:45-13:00	16	25	37	256		54	388
13:00-13:15	18	15	12	190		33	268
13:15-13:30	21	24	40	240		63	388
13:30-13:45	17	50	35	207		14	323
13:45-14:00	13	11	14	174		37	249
14:00-14:15	12	60	94	418		70	554
14:15-14:30	23	65	90	398		81	657
14:30-14:45	18	58	90	518		70	752
14:45-15:00	27	70	98	233		86	514
15:00-15:15	21	75	90	329		63	578
15:15-15:30	11	70	88	346		38	553
15:30-15:45	17	66	120	326		72	621
15:45-16:00	17	65	95	328		55	560
16:00-16:15	14	65	80	302		35	506
16:15-16:30	13	70	80	386		24	583
16:30-16:45	10	72	88	370		64	604
16:45-17:00	14	68	80	342		63	567
17:00-17:15	17	64	72	412		37	602
17:15-17:30	21	65	105	346		46	603
17:30-17:45	18	77	99	378		50	620
17:45-18:00	16	70	85	304		49	524
18:00-18:15	12	78	101	323		37	551
18:15-18:30	19	74	90	367		26	576
18:30-18:45	18	75	102	299		43	535
18:45-19:00	18	64	145	317		42	604
19:00-19:15	19	90	125	244		38	516
19:15-19:30	21	91	110	248		43	513
19:30-19:45	13	90	105	204		33	445
19:45-20:00	20	75	90	236		35	456
20:00-20:15	14	70	92	228		22	426
20:15-20:30	12	73	102	254		27	468
20:30-20:45	10	70	104	256		31	471
20:45-21:00	12	72	88	229		17	418
21:00-21:15	12	63	78	205		15	371
21:15-21:30	10	55	74	169		22	330
21:30-21:45	11	62	75	162		18	328
21:45-22:00	11	70	89	227		19	416
22:00-22:15	12	70	90	187		6	365
22:15-22:30	8	84	86	171		17	367
22:30-22:45	8	58	80	187		6	339
22:45-23:00	11	57	81	199		7	355

FLUJO VEHICULAR

VIA : Av. La Marina
 PUNTO :
 SENTIDO : Este-Oeste
 Fecha :

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	CAMION	TOTAL
5:00-5:15	1	4	15	84			104
5:15-5:30	0	6	15	86			107
5:30-5:45	0	6	10	192			208
5:45-6:00	3	12	11	112		1	139
6:00-6:15	5	22	38	95		3	164
6:15-6:30	7	7	15	113			142
6:30-6:45	9	11	17	117			154
6:45-7:00	9	19	18	210			256
7:00-7:15	13	37	54	229			333
7:15-7:30	10	42	87	242			381
7:30-7:45	8	53	95	261			417
7:45-8:00	11	57	98	385			551
8:00-8:15	13	74	114	405			606
8:15-8:30	12	72	99	430			613
8:30-8:45	18	62	92	789		3	944
8:45-9:00	12	76	116	446		2	652
9:00-9:15	17	54	75	348		4	498
9:15-9:30	20	75	94	313		14	516
9:30-9:45	14	78	97	361		14	564
9:45-10:00	13	91	104	280		10	498
10:00-10:15	13	74	81	304		17	489
10:15-10:30	12	69	74	368		16	540
10:30-10:45	10	53	70	280		12	425
10:45-11:00	10	62	82	307		9	470
11:00-11:15	14	57	77	338		1	485
11:15-11:30	11	49	52	296		4	412
11:30-11:45	11	45	48	332		12	448
11:45-12:00	10	48	50	247		13	366
12:00-12:15	12	32	55	255		8	362
12:15-12:30	15	42	47	299		7	410
12:30-12:45	13	41	84	352		17	507
12:45-13:00	11	61	53	321		20	466
13:00-13:15	13	57	58	398		11	525
13:15-13:30	13	66	72	330		18	501
13:30-13:45	14	59	62	270		10	415
13:45-14:00	12	63	51	364		15	505
14:00-14:15	10	39	32	210		2	283
14:15-14:30	10	51	65	305		1	432
14:30-14:45	14	100	59	240		4	417
14:45-15:00	11	48	86	270		5	400
15:00-15:15	11	52	64	323		3	453
15:15-15:30	15	58	55	319		3	450
15:30-15:45	17	51	42	298		4	412
15:45-16:00	16	49	56	307		4	432
16:00-16:15	11	41	46	314		7	419
16:15-16:30	18	39	46	290		9	402
16:30-16:45	15	35	46	265		2	363
16:45-17:00	16	49	67	285		12	429
17:00-17:15	15	59	54	279		5	412
17:15-17:30	16	43	57	326		3	445
17:30-17:45	17	42	57	321		5	442
17:45-18:00	16	42	60	320		6	444
18:00-18:15	12	33	45	280		1	371
18:15-18:30	11	50	72	334		2	469
18:30-18:45	21	50	70	325			466
18:45-19:00	15	40	68	332		5	460
19:00-19:15	18	40	55	366		7	484
19:15-19:30	13	54	62	310		2	441
19:30-19:45	11	52	60	388		3	514
19:45-20:00	14	50	66	349		4	485
20:00-20:15	12	40	57	378			487
20:15-20:30	7	44	55	331		1	438
20:30-20:45	8	30	57	310		2	407
20:45-21:00	10	31	45	336			421
21:00-21:15	11	35	50	365			481
21:15-21:30	9	35	37	317			398
21:30-21:45	8	32	38	298			377
21:45-22:00	19	32	36	289			376
22:00-22:15	11	28	35	295		1	360
22:15-22:30	12	36	32	284		1	364
22:30-22:45	12	19	37	285			353
22:45-23:00	9	20	18	272			317

FLUJO DE PASAJEROS

VIA	:	Av. La Marina
PUNTO	:	
SENTIDO	:	Este-Oeste
Fecha	:	

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVO	TOTAL
5:00-5:15	8	0	80	155		223
5:15-5:30	0	36	120	135		291
5:30-5:45	0	38	30	351		417
5:45-6:00	0	118	47	180		345
6:00-6:15	33	232	93	154		512
6:15-6:30	92	135	105	170		502
6:30-6:45	133	191	0	176		500
6:45-7:00	74	402	40	322		838
7:00-7:15	266	649	379	353		1645
7:15-7:30	201	802	257	430		1690
7:30-7:45	370	1147	493	409		2419
7:45-8:00	350	1291	603	626		2870
8:00-8:15	340	1513	743	628		3224
8:15-8:30	256	1274	632	662		2844
8:30-8:45	325	880	388	1120		2713
8:45-9:00	243	1156	664	703		2756
9:00-9:15	241	551	383	528		1703
9:15-9:30	266	867	306	416		1855
9:30-9:45	183	878	302	551		1914
9:45-10:00	206	1344	344	448		2342
10:00-10:15	243	1374	309	459		2384
10:15-10:30	217	1124	289	510		2140
10:30-10:45	249	740	327	435		1751
10:45-11:00	157	882	332	490		1871
11:00-11:15	258	843	337	572		2110
11:15-11:30	208	880	178	465		1551
11:30-11:45	225	687	185	513		1590
11:45-12:00	208	727	227	388		1561
12:00-12:15	209	507	270	415		1401
12:15-12:30	326	587	192	518		1633
12:30-12:45	299	453	378	588		1718
12:45-13:00	275	808	383	562		2008
13:00-13:15	287	778	222	715		1982
13:15-13:30	282	1312	472	522		2598
13:30-13:45	308	1096	534	520		2458
13:45-14:00	284	1260	386	665		2605
14:00-14:15	166	592	288	379		1405
14:15-14:30	187	840	541	550		2098
14:30-14:45	299	1688	509	446		2930
14:45-15:00	210	779	629	486		2114
15:00-15:15	296	842	574	588		2300
15:15-15:30	408	872	479	584		2453
15:30-15:45	308	888	424	666		2186
15:45-16:00	432	810	468	575		2285
16:00-16:15	312	737	379	591		2019
16:15-16:30	438	687	300	547		1972
16:30-16:45	376	626	337	583		1922
16:45-17:00	371	775	479	460		2085
17:00-17:15	416	1046	422	445		2329
17:15-17:30	488	723	417	503		2131
17:30-17:45	587	774	545	508		2394
17:45-18:00	454	806	441	449		2150
18:00-18:15	398	728	438	387		1961
18:15-18:30	493	1265	758	604		3120
18:30-18:45	615	1239	635	539		3029
18:45-19:00	470	985	632	512		2599
19:00-19:15	572	1052	448	522		2592
19:15-19:30	589	1448	566	508		3091
19:30-19:45	389	1282	480	703		2854
19:45-20:00	528	1252	619	716		3113
20:00-20:15	411	1040	526	650		2627
20:15-20:30	298	1063	495	590		2446
20:30-20:45	287	782	476	478		2001
20:45-21:00	480	820	360	584		2224
21:00-21:15	388	888	401	686		2383
21:15-21:30	311	926	280	485		1982
21:30-21:45	304	851	266	428		1847
21:45-22:00	461	738	215	513		1927
22:00-22:15	350	634	240	385		1609
22:15-22:30	539	881	279	489		2188
22:30-22:45	509	424	206	603		1742
22:45-23:00	270	431	115	605		1421

FLUJO DE PASAJEROS

VIA	:	Av. La Marina
PUNTO	:	
SENTIDO	:	Oeste-Este
Fecha	:	

HORA	OMNIBUS	MICROBUS	COMBI	AUTO	COLECTIVOS	TOTAL
5:00-5:15	0	8	49	649		704
5:15-5:30	0	123	29	762		908
5:30-5:45	49	180	47	456		732
5:45-6:00	151	244	129	371		895
6:00-6:15	79	406	190	679		1354
6:15-6:30	224	675	400	613		1912
6:30-6:45	483	750	644	820		2677
6:45-7:00	659	1204	852	1066		3781
7:00-7:15	678	1291	1048	1107		4122
7:15-7:30	836	1415	1091	1069		4411
7:30-7:45	708	2134	1397	1071		5248
7:45-8:00	1084	1616	1151	1065		4866
8:00-8:15	777	2054	1183	869		4863
8:15-8:30	734	1711	940	81		3966
8:30-8:45	450	1795	1030	638		3913
8:45-9:00	481	1632	491	782		3286
9:00-9:15	252	1071	756	667		2746
9:15-9:30	250	897	641	532		2320
9:30-9:45	278	622	575	546		2021
9:45-10:00	390	708	450	442		1900
10:00-10:15	318	665	424	585		1990
10:15-10:30	173	938	355	594		2060
10:30-10:45	333	0	372	734		1439
10:45-11:00	190	489	326	578		1583
11:00-11:15	251	593	326	608		1778
11:15-11:30	205	542	288	696		1731
11:30-11:45	245	689	360	839		2133
11:45-12:00	298	586	285	672		1959
12:00-12:15	273	629	229	803		1934
12:15-12:30	212	559	234	920		1925
12:30-12:45	383	584	352	578		1897
12:45-13:00	324	786	385	925		2420
13:00-13:15	317	603	352	850		2122
13:15-13:30	215	686	391	580		1894
13:30-13:45	358	649	276	609		1892
13:45-14:00	319	515	254	474		1562
14:00-14:15	484	433	384	632		1943
14:15-14:30	747	579	471	961		2758
14:30-14:45	82	703	687	1083		2545
14:45-15:00	109	775	712	922		2518
15:00-15:15	308	621	535	700		2164
15:15-15:30	386	733	674	722		2525
15:30-15:45	250	774	734	855		2613
15:45-16:00	290	618	608	748		2254
16:00-16:15	193	592	494	789		2057
16:15-16:30	424	717	511	683		2335
16:30-16:45	284	604	519	680		2287
16:45-17:00	295	616	671	787		2658
17:00-17:15	310	735	760	783		2588
17:15-17:30	233	767	930	675		2605
17:30-17:45	143	657	900	797		2487
17:45-18:00	211	611	908	835		2663
18:00-18:15	143	645	903	712		2703
18:15-18:30	179	1557	872	876		3484
18:30-18:45	382	1164	1153	1006		3685
18:45-19:00	341	1431	1185	841		3798
19:00-19:15	194	1338	1227	853		3612
19:15-19:30	119	601	514	935		2468
19:30-19:45	283	667	663	798		2611
19:45-20:00	216	602	614	829		2461
20:00-20:15	229	637	641	851		2558
20:15-20:30	130	640	549	894		2203
20:30-20:45	184	667	515	902		2268
20:45-21:00	182	619	453	818		2052
21:00-21:15	126	606	570	657		1959
21:15-21:30	165	551	458	819		1991
21:30-21:45	175	543	441	946		2105
21:45-22:00	160	340	459	779		1737
22:00-22:15	177	274	330	747		1528
22:15-22:30	156	348	283	871		1639
22:30-22:45	135	283	371	892		1681
22:45-23:00	121	260	317	855		1543

INDICE DE GRAFICOS Y TABLAS

GRAFICOS

- Gráfico 2.1 Estructura general del modelo de transporte
- Gráfico 2.2 Proceso general de planificación
- Gráfico 3.1 El clásico modelo de cuatro etapas
- Gráfico 3.2 Líneas cordón y cortina
- Gráfico 3.3 Zonas de tránsito en área urbana de una ciudad
- Gráfico 3.4 Centroides de zonas de tránsito
- Gráfico 3.5 Red vial de un sistema de transporte
- Gráfico 3.6 Zonificación y red de transporte de una área urbana.
- Gráfico 3.7 Rutas de transporte público en una red de un sistema de transporte.
- Gráfico 3.8 Viajes generados en toda el área de estudio.
- Gráfico 3.9 Vectores Origen y destino de viajes
- Gráfico 3.10 Viajes típicos generados en una zona de tránsito
- Gráfico 3.11 Forma general de una matriz de viajes.
- Gráfico 3.12 Típica Distribución de Tiempos de Viaje (DTV) en zonas urbanas.
- Gráfico 3.13 Zonas de tránsito
- Gráfico 3.14 Curva de partición modal
- Gráfico 3.15 Relación flujo – velocidad en una vía.
- Gráfico 3.16 Relación flujo – costo en una vía.
- Gráfico 3.17 Cálculo de ruta mínima
- Gráfico 3.18 Dos rutas para llegar a un destino.
- Gráfico 3.19 Clasificación de los métodos de asignación
- Gráfico 3.20 Curvas volumen – demora de las rutas del ejemplo 3.2
- Gráfico 4.1 Zonas de Tránsito
- Gráfico 4.2 Red vial de modelación
- Gráfico 4.3. Red de transporte público.
- Gráfico 4.4. Tres rutas de transporte en una vía de la ciudad
- Gráfico 4.5. Calibración de la oferta de transporte público.
- Gráfico 4.6. Procedimiento de ajuste de matriz mediante Balanceo Tridimensional
- Gráfico 4.7 Correlación de tiempos observados y modelados en transporte privado para periodo punta de la mañana. Primera iteración

- Gráfico 4.8 Correlación de tiempos observados y modelados en transporte privado para periodo punta de la mañana. Quinta iteración.
- Gráfico 4.9. Correlación de tiempos observados y modelados en transporte privado para periodo punta de la mañana. Décima iteración
- Gráfico 4.10 Correlación de volúmenes de autos observados y modelados. Primera iteración.
- Gráfico 4.11 Correlación de volúmenes de autos observados y modelados. Cuarta iteración.
- Gráfico 4.12. Red de modelación de transporte de Lima con demanda asignada en transporte privado y en periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas).
- Gráfico 4.13. Detalle de red de modelación del Gráfico 4.12.
- Gráfico 4.14. Relación de tiempos de viaje en transporte público y privado.
- Gráfico 4.15 Comparación entre tendencias de la relación tiempos de viaje
- Gráfico 4.16 Ajuste de matriz mediante vectores de atracción y producción
- Gráfico 4.17 Correlación entre Viajes producidos y variable Población por zona de tránsito.
- Gráfico 4.18 Correlación entre Viajes atraídos por motivo Trabajo y variable Empleo por zona de tránsito.
- Gráfico 4.19 Correlación entre Viajes atraídos por motivo Estudio y variable Matrículas por zona de tránsito.
- Gráfico 4.20 Correlación entre Viajes atraídos por motivo Compras y variable Empleos por zona de tránsito.
- Gráfico 4.21 Ajuste de Diagrama de Frecuencias de Viaje (DFV)
- Gráfico 4.22 Primera iteración de calibración de tiempos de viaje en transporte público.
- Gráfico 4.23 Quinta iteración de calibración de tiempos de viaje en transporte público.
- Gráfico 4.24 Calibración de volumen de pasajeros en 108 puntos de conteo en el año 2001 en periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas).
- Gráfico 4.25 Calibración de volumen de pasajeros en la Zona Sur de Lima (Villa El Salvador, San Juan de Miraflores y Villa Maria del Triunfo) en periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas).
- Gráfico 4.26 Calibración de volumen de pasajeros por línea de transporte en el corredor de buses de la Vía Expresa de la Av. Paseo de la República en periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas).
- Gráfico 4.27 Red de modelación de transporte de Lima con demanda asignada en transporte público y en periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas).
- Gráfico 4.28 Detalle de la red de modelación del Gráfico 4.27.
- Gráfico B.1 Calibración de la oferta de transporte público. Periodo Tarde
- Gráfico B.2 Calibración de la oferta de transporte privado. Periodo Tarde
- Gráfico B.3 Calibración de tiempo de viaje en transporte privado. Periodo Tarde
- Gráfico B.4 Parámetros de la matriz de viajes en transporte privado. Periodo Tarde
- Gráfico B.5 Calibración de tiempos de viaje en transporte público. Periodo Tarde
- Gráfico B.6 Parámetros calibrados de la función de costo. Periodo Tarde
- Gráfico B.7 Calibración de aforos de pasajeros en transporte público. Periodo Tarde
- Gráfico B.8 Matriz de viajes en transporte público. Periodo Tarde
- Gráfico B.9 Tiempos de viaje en transporte privado. Periodo Valle
- Gráfico B.10 Parámetros de la matriz de viajes en transporte privado. Periodo Valle
- Gráfico B.11 Parámetros calibrados de la función de costo. Periodo Valle
- Gráfico B.12 Tiempos de viaje en transporte público. Periodo Valle
- Gráfico B.13 Matriz de viajes en transporte público. Periodo Valle

TABLAS

- Tabla 1.1 Parque Automotor de Lima y Callao al 31 de Diciembre de 1998
- Tabla 4.1 Clasificación funcional de vías
- Tabla 4.2. Funciones volumen – demora calibradas para periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas)
- Tabla 4.3. Matriz de viaje en transporte privado en Lima para periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas)
- Tabla 4.4. Resultados relevantes correspondientes a la matriz de viajes en transporte privado en periodo punta de la mañana.
- Tabla 4.5. Ajuste por líneas cortina
- Tabla 4.6. Resultados del Valor del Tiempo (VOT – Value of Time)
- Tabla 4.7 Pesos de tiempo
- Tabla 4.8. Factor de velocidad por tipo de vehículo
- Tabla 4.9 Funciones de tiempo calibradas para transporte público.
- Tabla 4.10 Matriz de viaje en transporte público en Lima para el periodo punta de la mañana (07:00 – 09:00 horas)