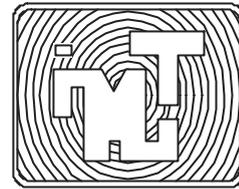




ISSN 0188-7297



MÉTODOS DE ASIGNACIÓN DE TRÁNSITO EN REDES REGIONALES DE CARRETERAS: DOS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Guillermo Torres Vargas
José Arturo Pérez Sánchez

**Publicación Técnica No. 214
Sanfandila, Qro. 2002**

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Métodos de asignación de
tránsito en redes regionales de
carreteras: Dos alternativas de
solución**

**Publicación Técnica No. 214
Sanfandila, Qro, 2002**

Este trabajo fue realizado en la Coordinación Operativa del Instituto Mexicano del Transporte por Guillermo Torres Vargas y José Arturo Pérez Sánchez. Se agradecen los comentarios de Víctor M. Islas Rivera, así como el apoyo proporcionado por Salvador Hernández García en la edición del estudio.

Índice

	<u>Página</u>
Resumen	VII
Abstract.....	IX
Resumen Ejecutivo	XI
Introducción.....	1
1 Bondades y deficiencias de los métodos de asignación de tránsito	3
2 Método de asignación de tránsito de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	5
2.1 Estimación del factor de utilización	6
2.2 Métodos empleados en campo para estimar los tiempos de recorrido vehicular.....	7
2.2.1 Método de placas	7
2.2.2 Método del vehículo flotante	8
2.3 Estimación del tránsito potencial	8
2.3.1 Tipo de itinerario.....	10
2.3.2 Factor de cuota.....	11
3 Método de la AASHTO modificado	13
4 Método del costo generalizado del transporte aplicado a la asignación de tránsito en redes regionales de carreteras	15
4.1 El costo de operación vehicular.....	16
4.1.1 Costo de operación vehicular base	17
4.1.2 Factor de corrección del costo de operación vehicular base.....	21

4.1.3	Determinación de la velocidad de servicio.....	24
4.1.4	Estimación del costo de operación por tipo de vehículo.....	25
4.2	Determinación del costo del tiempo de recorrido	26
4.2.1	Tiempo de recorrido.....	28
4.2.2	Valor del tiempo de los conductores	28
4.2.3	Valor del tiempo de los pasajeros	29
4.2.4	Nivel de ocupación de los vehículos y motivo del viaje de los pasajeros	30
4.3	Consideraciones sobre el peaje de carreteras de cuota	32
5	Implicaciones de la asignación adecuada del tránsito en el entorno económico y social.....	43
5.1	Impacto económico de una adecuada distribución de tránsito en una red regional de carreteras	43
5.2	Compatibilidad de los modelos de reasignación de tránsito con la política social del país	44
6	Aplicación de los distintos métodos de asignación de tránsito a una red regional de carreteras	47
6.1	Red regional Querétaro-Zacatecas. Estudio de caso.....	47
6.2	Aplicación del método de la AASHTO a la alternativa: Nuevo proyecto en el tramo Irapuato-León	48
6.2.1	Determinación del nivel de servicio y velocidades de operación de la carretera y tiempos de recorrido (situación actual o sin proyecto)	51
6.2.2	Estimación del tránsito potencial por asignar	52
6.3	El costo generalizado del transporte aplicado al método de redes para analizar la alternativa: Nuevo proyecto en el tramo Irapuato-León	53
6.3.1	Estimación del nivel de servicio, velocidad de operación y tiempo de recorrido de los distintos tipos de vehículos usuarios de la carretera actual y del proyecto en el tramo Irapuato-León	54

6.3.2	Estimación de los beneficios debidos a los ahorros en tiempo de recorrido	54
6.3.3	Cálculo del costo generalizado del transporte en el tramo Irapuato-León en presencia de un proyecto nuevo de cuota.....	55
6.4	Aplicación del método de la AASHTO en la red carretera Querétaro-Irapuato	57
6.5	Aplicación del método del costo generalizado del transporte para estimar la asignación del tránsito en la red carretera Querétaro-Irapuato.....	61
	Conclusiones	65
	Anexos	67
	Bibliografía	79

Índice de Cuadros

	<u>Página</u>
2.1 Segmentación del tránsito para estimar el Factor de Cuota (FC).....	10
2.2 Factores de cuota (FC) por tipo de itinerario.....	11
4.1 Variables que intervienen en el cálculo del costo de operación vehicular base.....	19
4.2 Información requerida para el cálculo del costo de operación vehicular base.....	20
4.3 Volúmenes de tránsito y clasificación vehicular.....	33
4.4 Ocupación vehicular y motivo del viaje	34
4.5 Carga transportada por tipo de producto por sentido	35
4.6 Carga transportada por producto en ambos sentidos	36
4.7 Distribución del peso vehicular	37
4.8 Volúmenes de tránsito por ruta.....	38
6.1 Principales características geométricas y operativas de la situación deseable (con proyecto).....	49
6.2 Principales características geométricas y operativas de la situación actual (sin proyecto).....	50
6.3 Velocidades de operación, tiempos de recorrido y factores de utilización necesarios para la asignación de tránsito por el método de la AASHTO....	51
6.4 Determinación del tránsito por asignar al nuevo proyecto.....	53
6.5 Asignación de tránsito respecto al nivel de cuota del tramo Irapuato-León (1999)	56

6.6	Principales características geométricas y operativas de la alternativa libre	58
6.7	Principales características geométricas y operativas de la alternativa con peaje.....	59
6.8	Estimación del factor de utilización de las distintas alternativas carreteras que se presentan en el arco Querétaro-Irapuato.....	60
6.9	Asignación de tránsito en la red conformada por las alternativas libre y de cuota Querétaro-Irapuato (1999)	62
6.10	Costo generalizado del transporte en los distintos itinerarios que integran la red Querétaro-Zacatecas (1999)	63

Índice de Figuras

	<u>Página</u>
2.1 Curva de la AASHTO para la asignación del tránsito.....	9
4.1 Escala del Índice Internacional de Rugosidad (IIR)	18
4.2 Factor de corrección de costo de operación para un vehículo ligero (FCCO)	21
4.3 Velocidades de operación vs. Índice Internacional de Rugosidad para un vehículo ligero.....	22

Resumen

Los estudios de asignación de tránsito constituyen un elemento importante en el proceso de planeación de la construcción, ampliación y modernización de la infraestructura carretera, los métodos que se presentan como alternativas de solución, son el método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), y el del Costo Generalizado del Transporte aplicado a redes regionales.

En el primer caso, se trata de un método que se aplica generalmente a redes urbanas de transporte, ya que considera que la infraestructura física en el medio urbano es semejante, lo cual no ocurre en el transporte interurbano, y en el segundo método además de considerar variables como la distancia y el tiempo de recorrido que toma en cuenta el primer método, se considera el estado físico de la superficie de rodamiento de los distintos tramos que integran una red regional de carreteras.

El objetivo que se persigue es proporcionar a los responsables de la toma de decisiones y de la programación de inversiones, una herramienta metodológica que les permita realizar los estudios de preinversión necesarios para posteriormente poder elaborar los estudios de justificación económica de los programas de inversiones en el corto, mediano y largo plazos.

Es conveniente mencionar que en los ejemplos de aplicación que se eligieron, algunas de las alternativas de proyecto propuestos, se deben considerar como meramente hipotéticos, y fue con el interés de mostrar la aplicación de los distintos métodos propuestos.

Por otra parte, es conveniente mencionar que la información que se utilizó en la aplicación de los métodos se integró para 1999, debido a la gran variedad que se tuvo en la temporalidad de los datos con que se contó, habiéndose realizado algunas estimaciones en la actualización de costos para este año.

Las dos alternativas de solución propuestas no son excluyentes, en cierta forma puede considerarse que son complementarios siempre y cuando se cuente con la información necesaria para la estimación del tránsito potencial por asignar.

Abstract

The traffic assignment studies have become a valuable element in the planning process for the building, enhancement and upgrading of highway infrastructure. In this document we analyse two related methods for traffic assignment, the first is the one developed by the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), the other relies on so called generalized costs method for regional networks evaluation.

The AASHTO method is typically applied for urban transport networks; it takes into account the existence of homogeneous physical conditions of urban infrastructure. Nevertheless, in the intercity environment this is not always true, as consequence the second method considers the differences on physical conditions of road surfaces for every section of the network. Both methods use time and length as principal variables.

The main objective of this document is to offer a methodological tool for preliminary appraisal studies. Therefore, we hope to help the analyst could define the investment criteria for setting investment budget program in the short, medium and long range. The main users of such methods are decision makers and budget administrators.

Finally, we have included some application examples. In them, some of the suggested projects alternatives must be considered as hypotheticals. This in order to illustrate the way for operating the methods.

Resumen Ejecutivo

Los estudios de asignación de tránsito constituyen un elemento importante en el proceso de planeación de la construcción, ampliación y modernización de la infraestructura carretera, los métodos que se presentan como alternativas de solución, son el método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), y el del Costo Generalizado del Transporte aplicado a redes regionales.

En el primer caso, se trata de un método que se aplica generalmente a redes urbanas de transporte, ya que considera que la infraestructura física en el medio urbano es semejante, lo cual no ocurre en el transporte interurbano, y en el segundo método además de considerar variables como la distancia y el tiempo de recorrido que toma en cuenta el primer método, se considera el estado físico de la superficie de rodamiento de los distintos tramos que integran una red regional de carreteras.

El objetivo que se persigue es proporcionar a los responsables de la toma de decisiones y de la programación de inversiones, una herramienta metodológica que les permita realizar los estudios de preinversión necesarios para posteriormente poder elaborar los estudios de justificación económica de los programas de inversiones en el corto, mediano y largo plazos.

Es conveniente mencionar que en los ejemplos de aplicación que se eligieron, algunas de las alternativas de proyecto propuestos, se deben considerar como meramente hipotéticos, y fue con el interés de mostrar la aplicación de los distintos métodos propuestos.

Los dos métodos son aplicables tanto para determinar la viabilidad de construcción de una carretera alterna nueva, la posibilidad de ampliar la sección existente o bien para realizar una modernización que incluya no solamente cambios en el ancho de sección sino también en el trazo geométrico de la carretera existente.

El abanico de opciones que puede analizarse es muy variado ya que es posible realizar estudios de asignación de tránsito en condiciones actuales ante la presencia de un nuevo proyecto (construcción de nueva carretera), efectuar la reasignación ante la alternativa de ampliar la sección de algunos tramos o bien llevar a cabo acciones de modernización con objeto de pronunciarse por la mejor alternativa de solución en cuanto a mejoramiento de la red vial existente en una región determinada.

Por otra parte, es conveniente mencionar que la información que se utilizó en la aplicación de los métodos se integró para 1999, debido a la gran variedad que se tuvo en la temporalidad de los datos con que se contó, habiéndose realizado algunas estimaciones en la actualización de costos para este año.

Las dos alternativas de solución propuestas no son excluyentes, en cierta forma puede considerarse que son complementarios siempre y cuando se cuente con la información necesaria para la estimación del tránsito potencial por asignar.

Existe un gran número de métodos de asignación, por lo que la posible aplicación de algunos distintos a los que se presentan en este documento resulta también válida siempre y cuando la disponibilidad de información que requieren las variables que en ello intervienen, se encuentren disponibles en la estadística y bases de datos con que se cuenta en México.

La selección de estos métodos, son los que a juicio de los autores, las variables que en ellos intervienen demandan de información y estadísticas que es posible obtener con relativa facilidad en México.

Introducción

En el estudio que se ha desarrollado, se plantea todo un procedimiento metodológico sobre la asignación de tránsito en redes regionales de carreteras, el cual es de utilidad en los análisis que realizan los responsables de la toma de decisiones técnico-económicas, en el momento de integrar los programas de inversiones en el corto, mediano y largo plazos.

El objetivo central es presentar la aplicación de dos métodos que se emplean en México en los estudios de asignación de tránsito, necesarios para la realización de distintos proyectos de preinversión.

Los resultados que aportan los métodos de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el del Costo Generalizado del Transporte, al aplicarse a distintas situaciones en que se encuentren operando pequeñas redes, proporcionan elementos de juicio que permiten prever las opciones de mejoramiento no solo en acciones de construcción de la infraestructura carretera, sino también en acciones de operación de la misma.

El estudio se ha dividido en seis apartados o capítulos. En el primero de ellos se describen las bondades y deficiencias de cada uno de los métodos propuestos para estimar la asignación del tránsito. En los capítulos dos, tres y cuatro, se presenta una descripción detallada de cada uno de los dos métodos propuestos, identificando cada una de las variables que intervienen en ellos, así como su campo de aplicación. En el capítulo cinco, se mencionan a juicio de los autores algunas implicaciones que tiene la adecuada asignación y en su caso reasignación de tránsito en el contexto macroeconómico nacional. En el apartado seis se consignan los resultados que se obtienen al aplicar los distintos métodos a distintos arcos que integran la red regional Querétaro-Zacatecas, en la que se aplican los criterios desarrollados con anterioridad en la línea de investigación de evaluación de proyectos.

Es conveniente señalar que al describir cada uno de estos métodos, se emiten una serie de recomendaciones para la obtención de la información en campo y en gabinete, mediante la realización de encuestas origen-destino que permiten conocer las preferencias de los usuarios de los distintos arcos que integran las redes regionales de infraestructura carretera. Asimismo, se proporcionan los elementos de análisis necesarios para la estimación en gabinete de algunas de las variables que intervienen en cada una de las dos alternativas de solución propuestas.

Una vez cubierta la parte metodológica, se realiza su aplicación en algunos estudios de caso de distintos tramos que se encuentran circunscritos en la red regional Querétaro Zacatecas.

Las reflexiones que se realizan sobre los resultados obtenidos en cada uno de los estudios de caso, se consignan en el apartado de conclusiones.

Es conveniente mencionar que en el presente estudio se realizaron estudios de campo solamente para determinar la velocidad de punto de los distintos tipos de vehículos que conforman el flujo vehicular existente en algunos de los tramos analizados. Estas velocidades fueron obtenidas en el año 2002, con objeto de comparar las velocidades de operación reales con las obtenidas en gabinete, y si bien toda la información se manejó con referencia al año base 1999, a pesar de contar con un volumen de tránsito más importante en el 2002, las velocidades de punto observadas fueron superiores a las estimadas en gabinete, es por ello que se recomienda, en la medida de las posibilidades, realizar estudios de campo que reflejen las condiciones de operación real de los distintos tipos de vehículos.

Las herramientas metodológicas desarrolladas tienen aplicación en los estudios de preinversión, útiles en el proceso de programación de inversiones.

1 Bondades y deficiencias de los métodos de asignación de tránsito

Para estudiar los problemas de asignación de tránsito en infraestructura vial, normalmente se toman en consideración los tiempos y distancias de recorrido.

En algunos procedimientos citados en los tratados de Ingeniería de Tránsito, estos dos factores se traducen en costos. En gran parte de los métodos se considera una igualdad de condiciones en cuanto a la calidad de la superficie de rodamiento de los caminos. Sin embargo, para el caso mexicano estas herramientas no conducen a resultados de todo realistas.

Parecería lógico que los itinerarios con menor costo en cuanto tiempo de recorrido fueran los más utilizados por los usuarios, sin embargo, esta aseveración sólo se cumple en el caso de redes urbanas, es decir en donde el nivel de ingresos es más importante y las tolerancias de tiempo de los desplazamientos, son muy cortas, además de estar en función de la distancia de recorrido y del nivel de congestión de las rutas, ya que las condiciones de proyecto son muy similares.

Esta situación no se cumple en el caso de redes de transporte interurbano debido a que las características geométricas y condiciones de rodadura entre las rutas que conforman dichas redes son sensiblemente distintas, por lo que es necesario incluir estos atributos en el cálculo de los costos totales de transporte.

En la literatura especializada existen una gran variedad de métodos de asignación de tránsito, tanto para el medio urbano como para el interurbano, la mayoría de ellos aplicables a las condiciones de operación de países desarrollados, por lo que cuando se requiere aplicar alguno de ellos a las condiciones particulares de países como el nuestro, se requiere llevar a cabo consideraciones adicionales con objeto de reflejar su realidad. El planificador tiene la responsabilidad de seleccionar entre ellos, el método que se adecue y se ajuste a los problemas de la red vial por analizar, garantizando así el empleo racional y adecuado de los recursos disponibles.

Para el análisis de redes regionales de transporte, se encontró que los métodos de asignación de tránsito más representativos son el propuesto por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el método de redes en el que se involucra el costo generalizado del transporte.

Durante el desarrollo del estudio, al aplicar el método AASHTO se buscó su utilidad en el análisis del flujo vehicular en una pequeña parte de la red carretera mexicana, por lo que se incluyó una ligera variante al momento de realizar las encuestas Origen-Destino (O-D), con objeto de conocer el tránsito potencial susceptible de usar alguna de las rutas alternas que integran la red en observación, obteniendo con ello un estudio de demanda declarada apegado a las condiciones particulares de operación de la red, a esta versión que considera una

pregunta adicional sobre el nivel de cuota que estaría dispuesto a pagar el usuario se le denomina método AASTHO modificado.

2 Método de asignación de tránsito de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

El método de asignación de tránsito de la AASTHO¹, originado en los años cincuenta, se basa en la observación estadística del comportamiento de los conductores cuando pueden elegir entre dos itinerarios y se conoce de manera objetiva la relación de tiempos de recorrido entre ellos.

El método es utilizado principalmente en los países desarrollados, debido a que en sus redes de carreteras prevalecen características geométricas y condiciones de rodadura semejantes .

El tiempo de recorrido constituye la variable más representativa del método, misma que es una función de la distancia por recorrer $t = f(d)$, sin embargo, en países en los que la superficie de rodadura y las características geométricas no son equiparables se recurre a otro tipo de métodos, como el que será descrito en capítulos posteriores de este trabajo.

Normalmente, cuando los análisis se realizan en países desarrollados, las velocidades de operación en los distintos arcos (rutas) de una red en estudio se determinan en gabinete a partir de los manuales de capacidad con que se cuente. Sin embargo, en países como México, en donde existe una marcada diferencia en las condiciones de operación, resultado del estado físico en que se encuentra la superficie de rodamiento, es recomendable obtener las velocidades de operación promedio a partir de los estudios Origen-Destino, disponibles.

El procedimiento que se recomienda utilizar en los estudios, para determinar las velocidades de operación son los de lectura de placas y los de vehículo flotante, los cuales son descritos en el apartado relativo a la estimación del factor de utilización (FU) que interviene en la expresión matemática que se emplea en la estimación de una nueva asignación de tránsito vehicular.

Para determinar el tránsito potencial por asignar (situación deseable) a una carretera o una red regional de carreteras con la aplicación del método de la AASHTO, es necesario determinar previamente el factor de utilización, por el cual deberá afectarse el tránsito usuario de la ruta existente (situación actual).

El factor de utilización toma en cuenta la relación entre los tiempos de recorrido de los itinerarios que conforman la red en análisis, es decir el cociente del tiempo de recorrido de la situación deseable y la situación actual.

¹ A Policy on Arterial Highways in urban areas. AASHTO, 1957.- in Valdés Antonio, **"Ingeniería de Tráfico"**, Ed. DOSSAT, S.A. Madrid, España. 1971.

2.1 Estimación del factor de utilización

El método AASHTO considera la siguiente expresión para el cálculo del factor de utilización (FU). Este factor toma en cuenta los tiempos de recorrido en la ruta a la que se pretende asignar un volumen de tránsito, la cual para efectos del estudio recibe el nombre de ruta alterna (cuando la red en estudio ya existe) o bien ruta con proyecto (cuando la ruta en estudio no existe y se pretende incorporar a la red que se trata de analizar). Asimismo, se considera el tiempo de recorrido del tránsito en la ruta de aquella que estaría en posibilidades de ceder una parte de su volumen de tránsito, a la que se denominará situación actual.

$$FU = \frac{1}{1 + \left(\frac{\text{Tiempos de recorrido de la ruta alterna o con proyecto}}{\text{Tiempos de recorrido de la ruta en la situación actual}} \right)^6}$$

Los tiempos de recorrido pueden ser obtenidos de dos formas, en gabinete y en campo.

En el primer caso, el cálculo del tiempo de recorrido se realiza normalmente utilizando el Manual de Capacidad Vial, el cual proporciona al analista la metodología para estimar el nivel de servicio a que opera una carretera, un tramo o un subtramo.

La estimación del nivel de servicio depende de varias variables, tales como el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), la composición vehicular, el alineamiento vertical y horizontal, el tipo de terreno en que se localiza la carretera, y sus características geométricas, entre otras.

En este sentido, al determinar el nivel de servicio al cual esta operando un tramo de la carretera, se le asocia una velocidad de operación en función de otras características operativas, tales como la distancia de visibilidad y la distancia a obstáculos laterales. Una vez determinada la velocidad de operación, el tiempo de recorrido es el cociente de la longitud del tramo entre la velocidad de operación determinada.

En el segundo caso, el estudio de tiempos de recorrido se realiza en campo empleando el método de placas o el método del vehículo flotante, este tipo de estudios, normalmente se llevan a cabo en forma simultánea a la encuesta Origen-Destino (O-D).

2.2 Métodos empleados en campo para estimar los tiempos de recorrido vehicular

Dos son los métodos que se emplean normalmente en campo para obtener los tiempos de recorrido vehicular. En ambos casos, al realizar el muestreo, es posible obtener los tiempos de recorrido promedio por tipo de vehículo y de toda la muestra vehicular.

A continuación se describen el método de placas y el de vehículo flotante, exponiéndose las bondades y desventajas de cada uno.

2.2.1 Método de placas

El método de placas consiste en colocar dos brigadas por sentido de circulación en cada uno de los tramos en que se realice la medición, integradas por dos personas. Las brigadas deberán ubicarse en lugares estratégicos del tramo, de tal suerte que una persona tome la lectura de la placa y otra con cronómetro en mano la hora de lectura, estos sitios pueden ser la entrada o salida de la estación Origen-Destino, los reductores de velocidad por el paso por poblaciones, topes, puntos de inspección militar o fitosanitaria, etc.

La realización de la encuesta O-D, no es una condición necesaria para llevar a cabo los estudios de tiempo de recorrido, ya que éstos pueden realizarse por separado. El número de brigadas, dependerá del número de tramos en que se seccione la carretera para realizar los estudios de tiempos de recorrido y velocidades de operación, colocando cuatro brigadas por tramo, dos por sentido de circulación. La información que deberá asentar cada integrante de la brigada en los formatos establecidos para su estudio son: nombre de la carretera, identificación del tramo, fecha, hora de inicio y hora de terminación de la lectura, tipo de vehículo, número de matrícula (placa) y hora en que pasa por el punto de lectura.

Al revisar los números de matrícula, se seleccionan aquellos que coinciden en ambos puntos de lectura del tramo, se clasifican por tipo de vehículo y se obtiene el tiempo de recorrido promedio por sentido de circulación en el tramo, a partir del cual puede ser estimada la velocidad de operación promedio.

Para obtener la velocidad de operación y tiempo total de recorrido de la carretera o de toda la ruta, se obtiene la velocidad ponderada por tipo de vehículo y a partir de ella el tiempo total de recorrido.

2.2.2 Método del vehículo flotante

El método del vehículo flotante, consiste en cronometrar el tiempo de recorrido de cada tipo de vehículo. Los responsables del estudio de campo realizan esta medición por persecución, es decir se da seguimiento al tipo de vehículo que se está muestreando. Cuando se trate de vehículos de pasajeros, los responsables de medir los tiempos de recorrido se incorporan como usuarios en el vehículo objeto de la muestra, cronometrando los recorridos sin considerar los tiempos muertos por paradas continuas (ascenso y descenso de pasajeros, y tiempo para tomar algún refrigerio).

El cálculo del tiempo de recorrido en una red en la que se presenta la situación de ruta con proyecto (situación deseable o futura), se realiza en gabinete con base en la velocidad de proyecto, misma que dependerá de las características geométricas de los tramos que integran la nueva ruta.

Cuando se analiza una red con varias alternativas de viaje ya existentes, el análisis se realiza a partir de la comparación de los tiempos de recorrido de las distintas alternativas. La alternativa que acuse menor tiempo de recorrido, será considerada como la ruta con proyecto, y las restantes constituirán en su momento las rutas en la situación actual.

Cuando la relación entre tiempos de recorrido de dos alternativas en estudio es igual a 1, la distribución desde el punto de vista teórico sería igual para cada uno de los arcos considerados, es decir se asignaría el 50% a cada una de las rutas en análisis.

En la figura 2.1, se muestra la relación teórica de tiempos de recorrido y el porcentaje de asignación de tránsito.

En estricto sentido, bajo las mismas condiciones de operación y cuando los tiempos de recorrido de dos alternativas son iguales, la distribución del tránsito es de 50% para cada una de ellas.

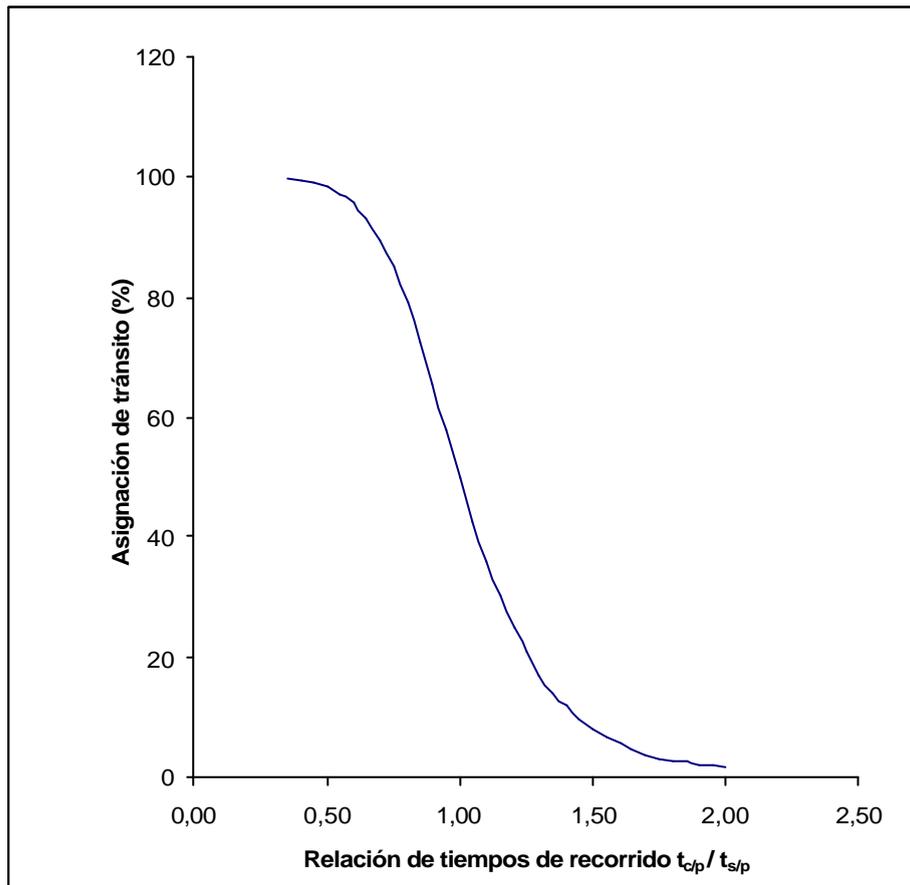
2.3 Estimación del tránsito potencial

La estimación del tránsito potencial usuario en rutas alternas con peaje, se encuentra asociada a un factor de cuota, mismo que a su vez está en función del tipo de itinerario que caracteriza su recorrido.

Para obtener mayor precisión en la estimación del tránsito potencial, es recomendable utilizar la composición vehicular en cada uno de los recorridos, ya que dichas composiciones presentan condiciones de operación distintas. Además, si la ruta alterna es de peaje, la composición vehicular del tránsito tiene gran importancia al momento de estimar el factor de utilización, toda vez que el tiempo

de recorrido se encuentra en función directa con la velocidad de operación de cada tipo de vehículo (A; B y C).

Figura 2.1
Curva de la AASHTO para la asignación del tránsito



Fuente: VALDÉS A. "Ingeniería de tráfico", Ed DOSSAT, S.A., Madrid, España 1971.

La expresión utilizada para la estimación del tránsito potencial por asignar es la siguiente:

$$TP = \sum_{i,j} TDPA_{ij} \times FU_i \times FC_j$$

Donde:

TP = Tránsito potencial por asignar

TDPA = Tránsito Diario Promedio Anual

FU = Factor de Utilización

FC = Factor de Cuota

i = Tipo de vehículo (A, B y C)

j = Tipo de itinerario (Corto, mediano y largo)

Si la ruta alterna forma parte de una red de carreteras libres (sin peaje) el factor de cuota será igual a la unidad, ya que la sensibilidad al pago no se presenta, por lo que el tránsito potencial se verá afectado únicamente por el factor de utilización.

2.3.1 Tipo de itinerario

La segmentación del tránsito por tipo de itinerario tiene la finalidad de ponderar el tránsito potencial por asignar a otra ruta, dicha segmentación estará en función de la distancia del recorrido de los vehículos.

El método AASTHO establece la segmentación del tránsito como se muestra en el cuadro 2.1

Cuadro 2.1
Segmentación del tránsito para estimar el Factor de Cuota (FC)

Tipos de recorrido		
Corto	Mediano	Largo
Menores a 50 Km.	Entre 50 y 100 Km.	Mayores a 100 Km.

La distancia del itinerario tiene una doble función en la estimación de tránsito potencial en un tramo determinado. Por una parte, participa en el cálculo del TDPA

ponderado de la ruta actual y por la otra, se convierte en la variable que permite determinar el factor de cuota del usuario, cuando ruta alterna es una carretera de peaje.

2.3.2 Factor de cuota

El factor de cuota consiste en otorgar un determinado peso específico a los tipos de recorrido. La Dirección General de Servicios Técnicos de la Subsecretaría de Infraestructura de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, asume que a menores distancias recorridas, serán menores los usuarios por tomar la vía alterna con peaje y el factor de cuota lo establece de la siguiente manera:

En el cuadro 2.2 se consignan los Factores de Cuota (FC) en función del tipo de itinerario.

Cuadro 2.2
Factores de cuota (FC) por tipo de itinerario

Tipos de itinerario		
Corto	Mediano	Largo
0.40	0.65	0.85

3 Método de la AASHTO modificado

En la práctica, al aplicar el método AASHTO en países como México, la estimación del tránsito potencial por asignar a una ruta alterna, está por arriba del que en la realidad se llega a presentar, debido a que el método AASHTO se aplica bajo las mismas condiciones físicas de la superficie de rodadura, por lo que se hace necesario buscar otros elementos que condicionan la selección del itinerario a seguir.

Contar con información más apegada a la realidad sobre la disponibilidad de pago de peaje es uno de los requerimientos más importantes de este tipo de métodos de asignación. Por ello se propone llevar a cabo una pequeña modificación, a fin de estimar lo más apegado a la realidad el tránsito potencial susceptible de ser asignado a una ruta alterna.

El método de la AASHTO podrá modificarse realizando estudios basados en las preferencias declaradas de los usuarios de la red carretera nacional, y a partir de éstos, conjuntamente con la determinación de los tiempos de recorrido medidos en campo, se harán las estimaciones para cada caso en particular.

Para determinar la disponibilidad al pago de cuota en una carretera, se sugiere hacer encuestas a los responsables de la toma de decisiones de las empresas de transporte de pasajeros y de carga y complementarlas con las encuestas O-D realizadas en campo, en las cuales se entrevistará a los hombres-camión y a los conductores de vehículos ligeros (tipo A).

La calibración de los factores de cuota obtenidos, en función de los itinerarios de los vehículos, se llevará a cabo mediante una evaluación de resultados ex-post, es decir con estudios de preferencias observadas, los cuales permitirán calibrar el factor de cuota obtenido con las preferencias declaradas y contar con un método de asignación confiable.

El método AASHTO modificado asume las consideraciones y variables del método anterior, y para obtener mayor precisión en la asignación de tránsito en las carreteras y puentes de cuota, la innovación consiste en incorporar una pregunta adicional en las encuestas origen – destino cuando se realicen en campo, o bien consultar a empresas de transporte de pasajeros y de carga, sobre el nivel de cuota que estarían dispuestas a pagar.

Esta pequeña modificación, permite realizar análisis de sensibilidad al pago de peaje, estableciendo con ello los distintos escenarios de cuota que permitirán fijar las bases para la determinación de la cuota óptima de un tramo o carretera que demande de tal pago. Esta información proporciona elementos de análisis para llevar a cabo los estudios de rentabilidad económica y financiera de carreteras de cuota.

Los estudios de rentabilidad que se realicen ante diferentes escenarios de cuota, permitirán a los responsables de la toma de decisiones, determinar la cuota en función del o los criterios seleccionados para su puesta en operación, los cuales pueden ser: el periodo de recuperación de la inversión, el costo del capital invertido, los costos generalizados del transporte y las políticas de conservación que se considere llevar a cabo no sólo en la ruta alterna sino en toda la red analizada en su conjunto.

Es importante mencionar que las encuestas origen-destino, consumen una cantidad importante de recursos. El llevarlas a cabo anualmente sería lo ideal, pero, no se cuenta con los recursos suficientes para ello, por lo que se recurre a la información que se obtiene en los puntos de algunas de las carreteras del país y a la aplicación de herramientas estadísticas, y así estimar los tránsitos que pudieran presentarse en los distintos arcos que integran una red regional.

Los estudios de campo que se realicen, son de gran utilidad, a pesar de contar sólo con una muestra de cuatro días. Sin embargo, a partir de ésta y de los periodos de máxima demanda de tránsito observados en las estaciones maestras de aforo vehicular, puede llegar a expandirse la muestra y contar con un tránsito estimado razonablemente confiable que permita continuar con los análisis de operatividad, así como con los económico-financieros del conjunto de carreteras que integran una red regional.

Además, los nuevos factores de cuota (FC), se determinarán a partir de la o las encuestas realizadas a las empresas transportistas u hombres camión, mismos que estarán en función del tipo de itinerario y del escenario de cuota que se pretenda analizar.

El tipo de itinerario y el factor de cuota son elementos indispensables en la aplicación de otros métodos de mayor precisión, ya que consideran variables adicionales, como el estado superficial de la superficie de rodamiento, el cual tiene un fuerte impacto en el costo generalizado del transporte. Este tipo de métodos resultan de mayor utilidad en países como el nuestro, en donde los recursos disponibles para la conservación carretera no son suficientes.

4 Método del costo generalizado del transporte aplicado a la asignación de tránsito en redes regionales de carreteras

El método de redes es de gran utilidad en el estudio y análisis de flujos. Una de las áreas en las que mayor aplicación ha tenido este método es la de mecánica de fluidos; su fundamento parte del principio de que el flujo de líquido selecciona el camino que ofrece el menor obstáculo para su circulación. La aplicabilidad del método en cuestiones de tránsito vehicular se facilita por contar con variables discretas, mientras que el manejo de expresiones en las que las variables son continuas, tiene un mayor grado de dificultad.

Los obstáculos o resistencia al paso del fluido, lo constituyen, en cierta manera las características físicas de los materiales de los ductos y canales por los que circula. Al respecto, puede citarse que en un sistema de conducción de fluidos, uno de los principales impedimentos a su circulación es la rugosidad de las paredes de las tuberías o canales que lo conforman, la cual ocasiona una pérdida de energía debido a la fricción. Las pendientes, los radios de curvatura de las tuberías y canales también son elementos que obstaculizan el flujo en medios continuos como los líquidos, sin olvidar que el área transversal de los arcos que constituyen una red tiene una importancia primordial en la capacidad de conducción o gasto.

En este sentido, el principio puede ser aplicado al flujo vehicular, cuando se requiera realizar estudios de asignación o redistribución de tránsito. La rugosidad de la superficie de rodamiento condicionará la eficiencia vehicular tanto operativa como económica. Si en tuberías y canales existen las pérdidas de energía por la fricción de la cara interna de éstos, por semejanza, las pérdidas en eficiencia operativa y económica en el caso de las carreteras son función del estado en que se encuentre la superficie de rodadura, es decir de su índice de rugosidad,

En el pasado, el método de redes se utilizó ampliamente en redes de transporte urbano y en menor medida en redes regionales de transporte, debido principalmente a que en el primer caso, las condiciones físicas del pavimento eran similares y se analizaba la distancia y el flujo vehicular en los distintos arcos de la red con base en distintos fundamentos matemáticos que permiten equilibrar los flujos y las distancias entre un origen y un destino. Sin embargo en el segundo caso el análisis resultaba más complicado debido a que no se contaba con metodologías adecuadas para estimar los costos de operación vehicular.

A pesar de que en la actualidad las redes regionales de transporte presentan un menor grado de complejidad, es decir, están constituidas con un menor número de arcos y nodos, las dos variables (distancia y flujo vehicular) utilizadas en el método AASHTO, no reflejan por si solas las condiciones físicas del pavimento, velándos e en cierta manera el costo real del transporte.

La economía mundial actual basada en la corriente neoliberal de mercado y con la nueva división de trabajo, exige un transporte de menor costo y más eficiente y minimizar los gastos, tanto de personas como de empresas e industrias. Por lo tanto, habrá que considerar otras variables que se ajusten, representen y permitan resolver los problemas actuales en dichas redes.

El método de redes del costo generalizado del transporte considera las exigencias actuales de los usuarios de las redes regionales, pues se incluyen los costos más importantes y representativos que repercuten en dichos usuarios, tales como, el costo de operación vehicular, el costo del tiempo de recorrido y el peaje cuando se trate de carreteras de cuota.

Los tres costos repercuten directamente en la economía del usuario y por ende, cubren esencialmente las exigencias del nuevo entorno económico. Además, en el costo del tiempo de recorrido se encuentran inmersas las dos variables (distancia y flujo vehicular) que de alguna manera también son consideradas en el método AASHTO descrito en apartados precedentes, debido principalmente a que la estimación del tiempo esta en función de la distancia que recorre el vehículo y de la velocidad de operación, que a su vez, está en función del flujo vehicular (nivel de servicio a que se encuentra operando el arco o tramo en estudio) y también de las condiciones físicas de la superficie de rodadura de los arcos que conforman la red, las cuales son el elemento primordial que afecta el costo de operación.

Cuando el análisis del costo generalizado del transporte se realiza en una carretera que cuenta con peaje, deberá considerarse el monto del mismo al momento de estimar el costo total de transporte. También cuando se realizan análisis de rentabilidad económica y financiera de proyectos de construcción de nuevas rutas en las que hay participación de particulares, este tipo de métodos permite estimar el nivel de cuota óptimo.

4.1 El costo de operación vehicular

Uno de los principales impactos a la economía nacional es el relativo a los costos de operación vehicular, ya que el transporte afecta las distintas fases del ciclo productivo de bienes de consumo, que participa en el proceso de producción (transporte de los centros de producción de materia prima a los centros de transformación), en el de distribución (transporte del centro de transformación a los centros de distribución o puntos de venta de los bienes) y en el de consumo (transporte de los centros de distribución al consumidor final). Al abatir los costos de operación, se reduce el costo de transporte, y consecuentemente se mejora el precio final del bien en beneficio del consumidor.

Además, la productividad del transporte carretero a nivel nacional presenta una mejoría importante, desde las ópticas laboral, económica y operacional. Una reducción en las tarifas de servicio en el servicio público, estimula la demanda

dando oportunidad a que se presenten economías de escala, participando activamente en la generación de empleo no sólo en esta rama de la actividad económica sino en ramas y sectores íntimamente relacionados con el mismo.

El costo de operación vehicular depende del estado físico de la superficie de rodadura, así como del tipo de terreno en que se encuentre el arco o tramo de la carretera, ya que los consumos directos (combustibles, lubricantes y llantas), y los indirectos (mantenimiento, refacciones, inversión y depreciación) del vehículo dependen de estas variables.

El estado físico de la superficie de rodadura condiciona la estimación del Índice Internacional de Rugosidad (IIR).

La figura 4.1 presenta la escala del IIR. En ella se consigna la información relativa al tipo de superficie de rodadura de aeropistas y caminos, representada mediante el IIR. Este índice constituye un insumo para determinar el factor de corrección del costo de operación vehicular base (Aguerrebere, 1991)², el cual es útil en la determinación del costo de operación por vehículo y por unidad de longitud (\$/Km).

En el apartado 4.1.2, se describe brevemente la forma en que puede determinarse el costo de operación base por tipo de vehículo, de acuerdo a la configuración vehicular que presentan sobre todo los que se utilizan en el transporte de mercancías (vehículos de carga).

4.1.1 Costo de operación vehicular base

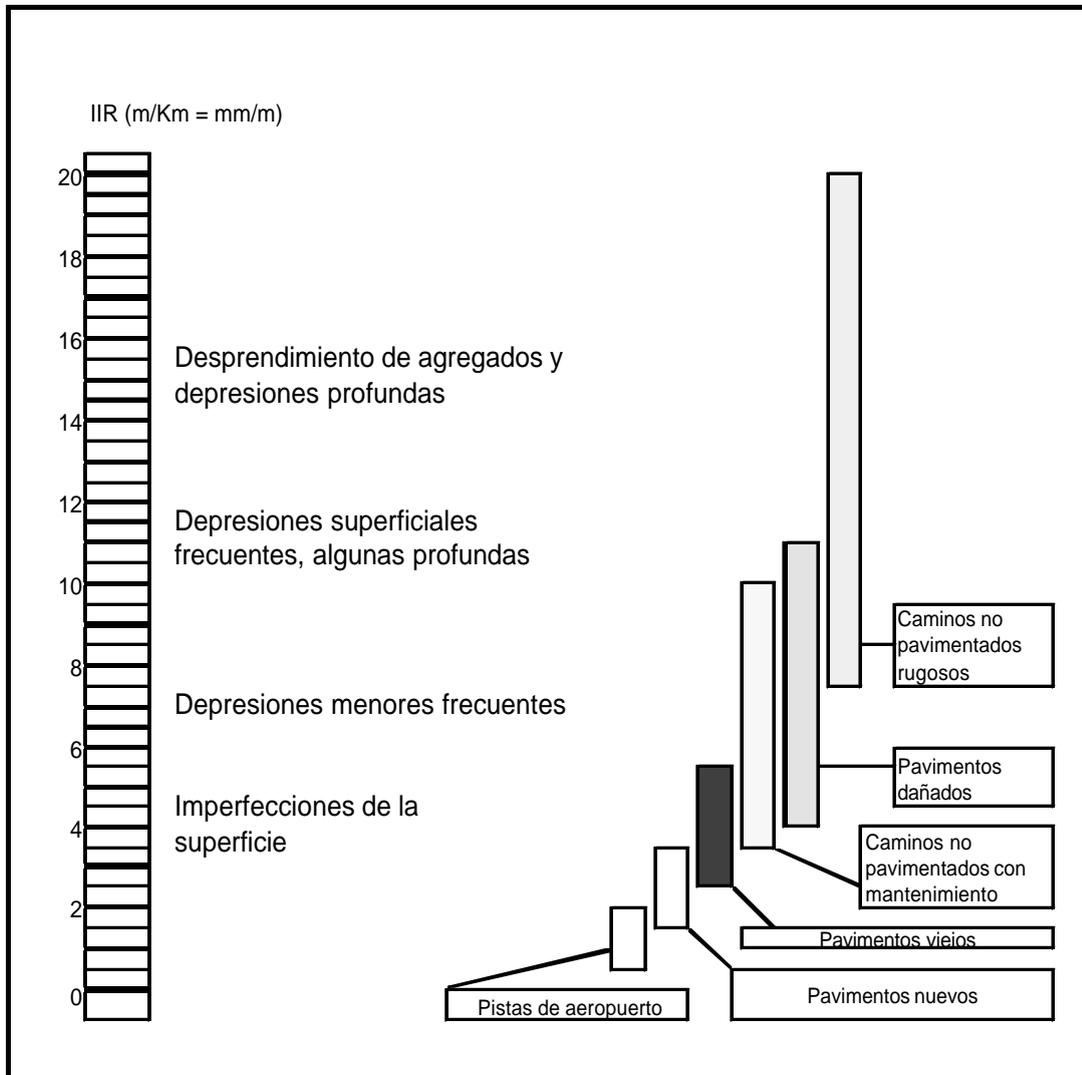
El costo de operación vehicular base, está integrado por la suma de los costos inherentes a los insumos necesarios para la puesta en operación del vehículo y de los costos derivados de la interacción de dicho vehículo con la infraestructura carretera. El costo de operación base es calculado mediante la rutina Vehicule Operating Costs del programa Highway Design and Maintenance Standards Model versión 3 (HDM-3).

Es conveniente mencionar que los resultados obtenidos fueron similares a los determinados utilizando la versión 4 del HDM (Arroyo 2002)³

² Aguerrebere S. R., Cepeda N. F., De Buen R.O. y Rico R. A..- Publicación Técnica N° 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 1991.

³ Arroyo O. J. A., Aguerrebere S. R.- Publicación Técnica No. 202 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 2002.

Figura 4.1
Escala del Índice Internacional de Rugosidad (IIR)



Fuente: Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. Technical Paper 46. World Bank Washington, D. C. In: Aguerrebere S. R., Cepeda N. F., De Buen R.O. y Rico R. A.- Publicación Técnica Nº 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras"

En el cuadro 4.1, se consignan las variables más representativas para realizar el cálculo de los costos de operación base.

Cuadro 4.1
Variables que intervienen en el cálculo del costo de operación vehicular base

- Tipo de terreno	- Tipo de vehículo
- Plano	- Ligero
- Lomerío	- Autobús
- Montañoso	- Camión
- Superficie de rodadura	- Rugosidad del pavimento
- Consumos	- Costo de los insumos
- Combustibles	- Combustibles
- Lubricantes	- Lubricantes
- Llantas	- Llantas
- Mantenimiento del vehículo	- Depreciación del vehículo
- Tasa de actualización	

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en la Publicación Técnica No. 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", IMT, 1991

Los costos de operación base son calculados utilizando el VOC y considerando los consumos que presenta cada uno de los vehículos al operar en condiciones ideales, es decir, vehículos nuevos que circulen en flujo libre en un tramo recto sin pendiente vertical, terreno plano y superficie de rodadura pavimentada en muy buen estado cuyo IIR es igual a 2 mm/m. La publicación 30 del Instituto Mexicano del Transporte contiene los datos sobre los consumos requeridos para el cálculo de estos costos de operación base, a estos consumos deben asociarse los costos unitarios para estar en condiciones de estimar el costo de operación vehicular base. En el cuadro 4.2 se muestran las variables que intervienen en el costo de operación base, así como los consumos por cada 1000 vehículos y los costos unitarios relativos a los consumos de cada una de las variables o insumos que intervienen en su determinación.

Cuadro 4.2
Información requerida para el cálculo del costo de operación vehicular base

Principales variables del costo de operación base para un tipo de vehículo	Consumos por 1000 vehículo-Km.	Costos Unitarios pesos	Costo de Operación (vehículo – Km.)
Precio de vehículo	---	\$	---
Consumo de combustible	Litros	\$/litro	\$
Uso de lubricantes	litros	\$/litro	\$
Consumo de llantas	nº llantas nuevas equiv.	\$/llanta	\$
Tiempo de operador	Horas	\$/hora	\$
Mano de obra de mantenimiento	Horas	\$/hora	\$
Refacciones	% precio del vehículo	---	\$
Depreciación	% precio del vehículo	---	\$
Intereses	% precio del vehículo	%	\$
Costos indirectos por vehículo-Km.	---	\$	\$

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en la Publicación Técnica No. 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", IMT, 1991

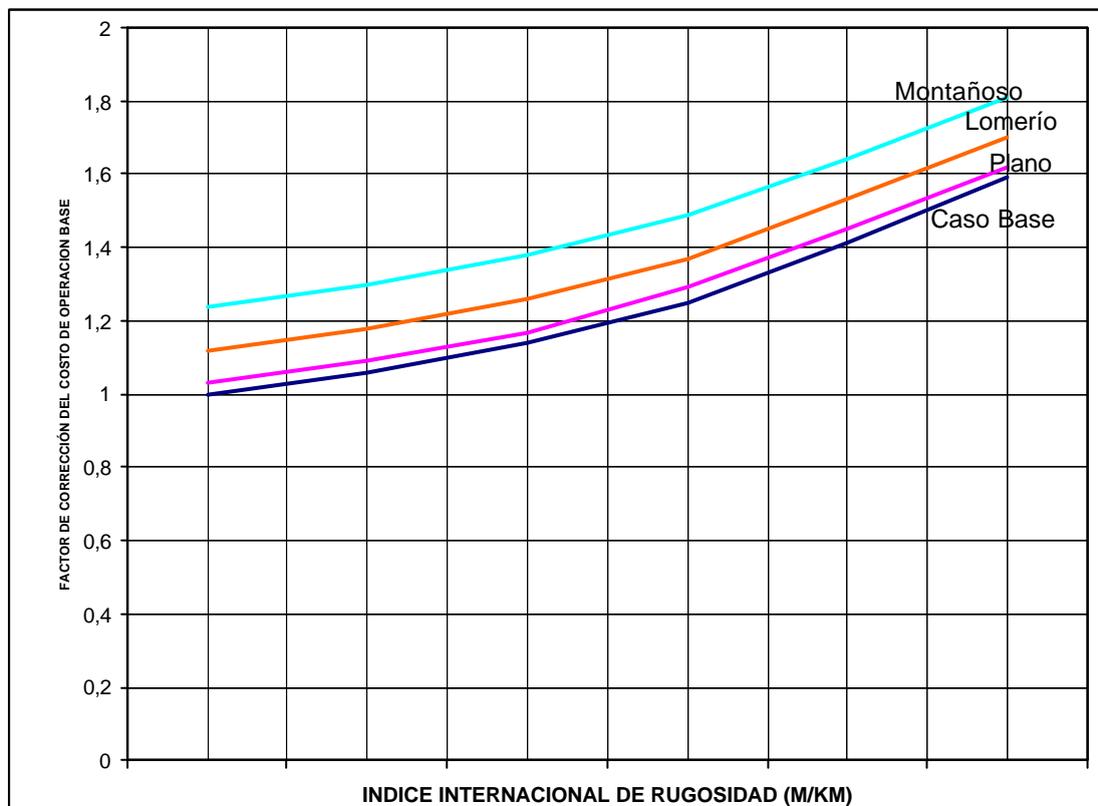
Los costos unitarios de cada uno de los insumos o variables corresponden a costos netos promedio, es decir, sin impuestos ya que éstos son considerados en los estados contables como gasto y trasladados a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, de conformidad con la legislación fiscal vigente en la materia, cuando las empresas y/o personas físicas, presentan su declaración de impuestos.

El costo de operación base para cada tipo de vehículo se calcula por unidad de longitud, por lo que para obtener el costo de operación en un tramo determinado deberá afectarse el costo de operación base por el factor de corrección, el cual depende del tipo de terreno del tipo de vehículo y del estado en que se encuentre la superficie de rodadura del camino.

4.1.2 Factor de corrección del costo de operación vehicular base

Con base en las curvas que se muestran en la figura 4.2 se determina el factor de corrección que debe emplearse en la determinación del costo de operación para un vehículo ligero.

Figura 4.2
Factor de corrección de costo de operación para un vehículo ligero (FCCO)

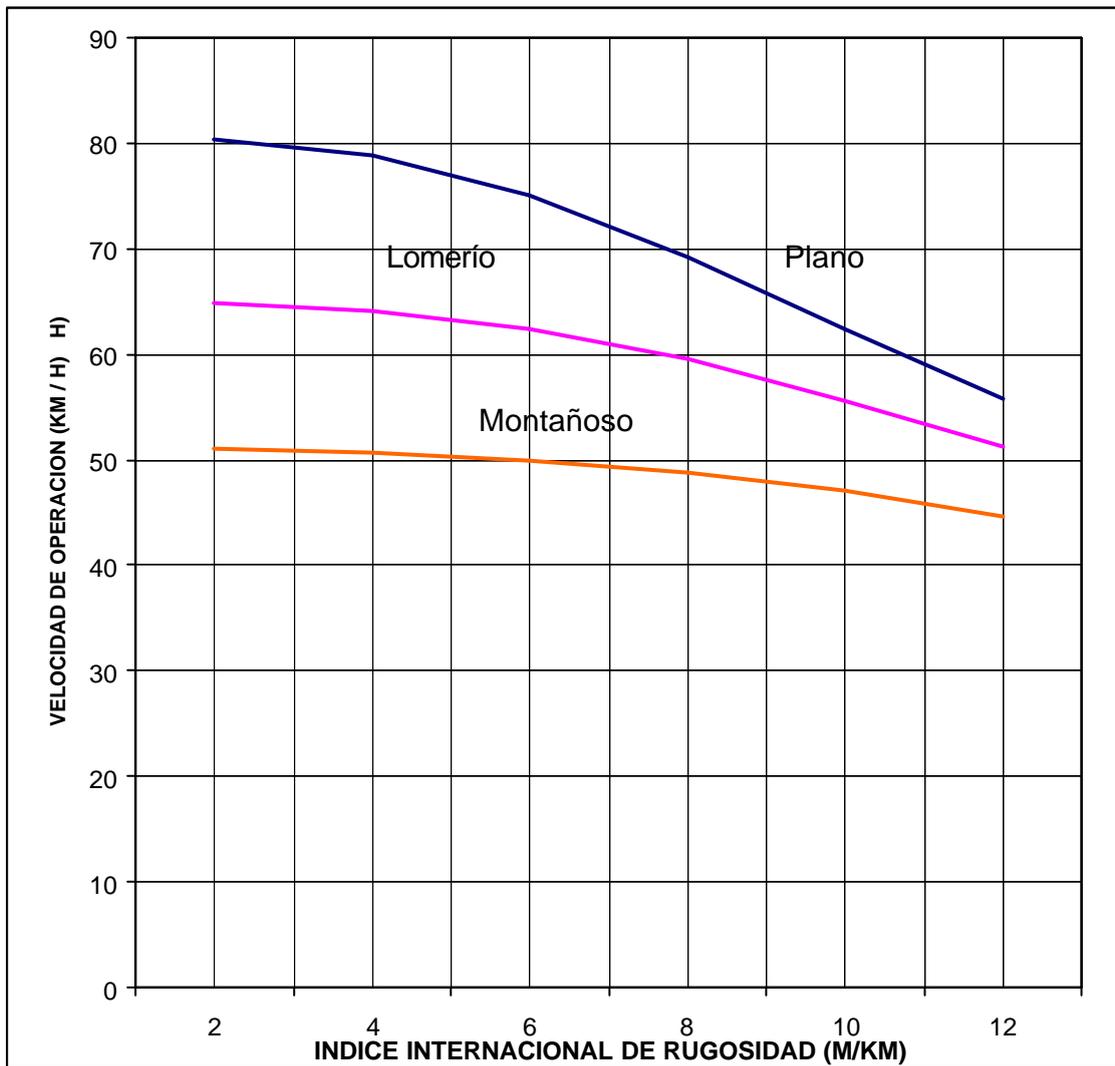


Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en la Publicación Técnica No. 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", IMT, 1991

Este tipo de figuras son de gran utilidad ya que permiten determinar el costo de operación promedio en distintos tramos de la red, toda vez que el IIR corresponde en algunos casos a un valor promedio, obteniéndose valores representativos por tramo y por carretera, los cuales son de utilidad en estudios no sólo de asignación de tránsito, sino también de rentabilidad económica, como se verá en apartados subsecuentes.

Con base en los resultados reportados por el VOC para un vehículo ligero, para distintos tipos de terreno y distinto estado físico de la superficie de rodadura, se llegan a construir gráficas que relacionan su velocidad con el IIR, tal y como se muestra en la figura 4.3.

Figura 4.3
Velocidades de operación vs. Índice Internacional de Rugosidad
para un vehículo ligero



Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en la Publicación Técnica No. 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", IMT, 1991

Debido a que en la actualidad no se cuenta con la calificación del estado físico de la superficie de rodadura de toda la red carretera del país, se recurre a estimar la velocidad de operación por tipo de vehículo en campo por algunos de los métodos utilizados para obtener el tiempo de recorrido, y que fueron descritos en el apartado 2.2, para posteriormente asociar la velocidad promedio observada por tipo de vehículo a un IIR equivalente, mediante el uso de gráficos como los que aparecen en la figura 4.3. Con el IIR obtenido se determina el factor de corrección del costo de operación base para estimar un costo de operación promedio real en el tramo o arco de la red carretera que se analiza.

Cuando se cuenta con información sobre calificación del estado superficial de una carretera y se conoce el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), pero no así, las velocidades de operación de los distintos vehículos, se puede recurrir a determinar la velocidad de operación en gabinete, mediante el uso del Manual de Capacidad, asociando al volumen de servicio, la velocidad correspondiente al Nivel de Servicio en que se encuentre operando el tramo en estudio.

Los volúmenes y los niveles de servicio para los diferentes tipos de carreteras se obtienen a partir de las expresiones siguientes:

$$VSI_A = C * (V/C) * N * FA * FC * FVP * FT$$

$$VSI_B = C * (V/C) * FA * FP * FD * FVP$$

$$VSI_C = C * (V/C) * N * FA * FC * FVP$$

Donde:

VSI_A = Volumen de Servicio en carreteras de carriles múltiples.

VSI_B = Volumen de Servicio en carreteras de dos carriles.

VSI_C = Volumen de Servicio en autopista.

C = Capacidad.

V/C = Relación volumen entre capacidad.

N = Numero de carriles.

FA = Factor por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales.

FC = Factor por familiarización con la carretera.

FVP = Factor de vehículos equivalentes para el análisis generalizado.

FP = Factor de ajuste para vehículos ligeros en rampas.

FT = Factor por tipo de carretera.

FD = Factor de ajuste por distribución direccional.

Obtenidos el volumen y el nivel de servicio, se procede a calcular la velocidad de servicio (operación).

4.1.3 Determinación de la velocidad de servicio

La velocidad de servicio se obtiene básicamente de los cuadros del Manual de Capacidad Vial, donde figuran las velocidades de servicio para cada tipo de carretera asociadas a los distintos niveles de servicio que pueden presentar. Las velocidades de servicio se encuentran a partir de la expresión siguiente basada en dichos cuadros del Manual de Capacidad Vial.

$$vel_{SI_i} = vel_a - \left[(vel_a - vel_c) * \frac{\left(\frac{TDPA}{C} - Fa \right)}{(Fc - Fa)} \right]$$

Donde:

vel_{SI} = Velocidad de servicio buscada.

i = Tipo de carretera.

vel_a = Velocidad asociada al límite superior del nivel de servicio en que se encuentra operando el tramo en estudio.

vel_c = Velocidad correspondiente al límite inferior del nivel de servicio en que se encuentra operando el tramo.

TDPA = Tránsito diario promedio anual en la carretera.

C = Capacidad.

Fa = Factor correspondiente de la relación del volumen de servicio entre la capacidad para el respectivo nivel de servicio en que se encuentra operando la carretera.

Fc = Factor correspondiente a la relación del volumen de servicio y la capacidad para el nivel de servicio inmediato inferior

La velocidad de operación por tipo de vehículo se obtiene de la expresión siguiente:

$$v_{o_{ij}} = vns_i * Fv_{ij}$$

Donde:

v_o = Velocidad de Operación.

vns = Velocidad del nivel de servicio.

Fv = Factor de ajuste a la velocidad del vehículo en función al tipo de terreno y al nivel de servicio.

i = Tipo de carretera.

j = Tipo de vehículo

4.1.4 Estimación del costo de operación por tipo de vehículo

Conocida la velocidad de operación de los distintos tipos de vehículos, esta se asocia a un IIR equivalente que puede obtenerse a partir de gráficas similares a las que aparecen en la figura 4.3 (caso de vehículos ligeros), el cual mediante el uso de las gráficas de la figura 4.2, permite estimar el factor de corrección del costo de operación base (FCCO) por tipo de vehículo, y de esta forma determinar el costo de operación vehicular que interviene en el cálculo del costo generalizado del transporte.

$$\mathbf{COV_{ij} = COB_{ij} * FCCO_{ij}}$$

Donde:

COV = Costo de operación vehicular

COB = Costo de operación base

FCCO= Factor de corrección del costo de operación.

i = Tipo de vehículo

j = Tipo de terreno

Hay que señalar que en los casos en que la velocidad de operación observada en estudios de campo, o estimada con ayuda del manual de capacidad vial, esté fuera del rango que aparece en los gráficos que asocian a esta con el IIR, se considerará un índice igual a 2 cuando dicha velocidad se encuentre por encima del límite superior y de 12 cuando ésta se encuentre por debajo del límite inferior.

En el Anexo 1 se consigna la información relativa a la estimación del costo de operación base por tipo de vehículo, así como la serie de figuras que presentan información sobre la velocidad de operación, índice internacional de rugosidad y factor de corrección del costo de operación base por tipo de vehículo y tipo de terreno.

4.2 Determinación del costo del tiempo de recorrido

En la actualidad, el tiempo se convierte en un factor relevante en la mayoría de las actividades económicas, pero cuando la actividad comprende parte del proceso de la rotación de capital, el tiempo adquiere mayor importancia para desempeñar dicha actividad, ya que a menores tiempos en la rotación de capital, mayores serán las utilidades para las personas, empresas o industrias.

La circulación de vehículos por las redes regionales de carreteras de cierta manera forma parte de la rotación del capital, ya que por un lado, los vehículos de carga transportan mercancías con cierto valor monetario, asimismo, dichas mercancías forman parte de un proceso de producción, de acopio o distribución, y desde cualquiera de los dos puntos vista, la transportación de mercancías se encuentra inmersa en la rotación de capital.

Cabe mencionar también que el entorno de la economía mundial exige menores tiempos de circulación de mercancías y por ende, menores costos en los tiempos de recorrido.

Cuando los pasajeros viajan a través de dichas redes por motivos de trabajo, el tiempo del viaje pasa a formar parte de su horario laboral y por consiguiente, el pasajero asume un salario correspondiente al tiempo de viaje. Además, el traslado del pasajero de un lugar a otro por tales motivos, tiene la finalidad de desempeñar un trabajo, es decir, el motivo del viaje representa la realización de un proceso productivo. Por lo tanto, el monto económico del salario y la realización de un proceso productivo de dicho pasajero, se asemeja a una rotación de capital.

Por consiguiente, el costo del tiempo de circulación de mercancías y de personas (conductores y pasajeros que viajan por motivos de trabajo) en las redes regionales de carreteras, representa una variable importante por considerar en los estudios de asignación de tránsito en dichas redes. Sin embargo, el determinar el valor de la circulación de mercancías resulta complicado, ya que dicho valor esta en función en primer lugar del tipo de mercancía. Por una parte, las materias primas y los productos intermedios estarán en función del tipo de la organización de producción, por la otra, intervienen otro tipo de factores, como los de índole financiero, que son fundamentales para la estimación del costo de oportunidad del producto o mercancía transportado, la dificultad no sólo estriba en calcular el costo de oportunidad en la etapa de distribución del producto terminado, sino también en la etapa de producción (transformación de la materia prima en un producto con valor agregado adicional).

El estudio del tiempo de recorrido de mercancías merece ser tratado con mayor detalle considerando no sólo aspectos económicos, también tendrán que hacerse intervenir otros instrumentos de inversión imperantes en el mercado.

Por lo tanto, en el presente estudio sólo se determinaran los costos del tiempo de recorrido tanto para los conductores, como los pasajeros usuarios de la red de carreteras regionales.

El costo del tiempo de recorrido de conductores y pasajeros se determina mediante la expresión siguiente:

$$CTR_i = \sum_i [((Kc_i - 1) * IHc_i) + (Kp_i * MVT * IHp_i)] * T_i$$

Donde:

CTR = Costo del tiempo de recorrido en la red.

Kp = Pasajeros promedio por vehículo que circula por las carreteras de la red.

- Kc = Conductores por vehículo que circula por las carreteras de la red.
- MVT = Promedio de las personas que circulan en la red por motivo de trabajo.
- IHp = Promedio del Ingreso en horas de la población ocupada del país.
- IHc = Promedio del Ingreso en horas de los conductores de vehículos en el país (A, B y C).
- T = Tiempo de recorrido por las carreteras de la red.
- i = Tipo de vehículo (A, B y C).

4.2.1 Tiempo de recorrido

El tiempo de recorrido en la red, es el cociente de dividir la distancia recorrida entre la velocidad de operación, la cual es determinada con ayuda del Manual de Capacidad Vial a partir de los volúmenes de tránsito que se presentan en el tramo, carretera o red de carreteras en estudio.

La expresión utilizada para el cálculo del tiempo de recorrido es la siguiente:

$$T = d / v$$

Donde:

T = Tiempo de recorrido de un origen a un destino (expresado en horas.)

d = Distancia del trayecto expresado en Km.

v = Velocidad de operación calculada a partir de los volúmenes de tránsito, vía el manual de capacidad vial (expresado en Km. / h).

4.2.2 Valor del tiempo de los conductores

Para determinar el valor del tiempo de los conductores de camiones de carga y de pasajeros, se recurre a las Cámaras y/o Asociaciones de Autotransporte de Carga y Pasajeros para conocer los ingresos y horarios laborales de sus conductores.

Con la información recabada se procede a determinar el ingreso por hora de los conductores y por último, a obtener el promedio de dicho ingreso de cada tipo de conductor (carga y pasajeros), ya que como en cualquier empleo, algunos

conductores reciben mayores remuneraciones de acuerdo al tipo de carga y pasaje que transportan.

En contrapartida, los ingresos de los conductores de vehículos ligeros son muy heterogéneos, lo que complica obtener un promedio de los que circulan por las redes de carreteras regionales. Por tal razón, se recurrió a crear y utilizar una expresión que refleje las condiciones mínimas de ingreso para estos conductores.

La expresión considera el promedio de los salarios mínimos generales en el país, el tiempo de labores por ley y un factor de ajuste a los ingresos, que está en función del salario mínimo mensual requerido para la adquisición de un automóvil nuevo. La expresión queda de la siguiente manera:

$$\text{SHA} = (\text{FIA} * \text{PSMG} * 365) / (\text{TLD} * 365)$$

$$\text{FIA} = \text{SMMA} / (\text{PSMG} * 30)$$

Donde:

SHA = Salario por hora de los conductores de vehículos ligeros.

FIA = Factor de ajuste la ingreso.

PSMG = Promedio de los salarios diarios mínimos generales.

SMMA = Salario mínimo mensual que se estima se requiere para adquirir un automóvil nuevo.

TLD = Promedio del número de horas diarias laboradas por la población ocupada del país.

365 = Días / año.

30 = Días / mes.

4.2.3 Valor del tiempo de los pasajeros

Como al igual que en el caso de los conductores de vehículos ligeros, resulta complicado obtener de forma directa el valor promedio de los pasajeros que circulan por las redes de carreteras regionales, de igual forma, se recurre a crear una expresión que refleje las condiciones mínimas de ingreso para dichos pasajeros.

La expresión considera el salario mínimo general promedio de las distintas regiones del país, el promedio del número de horas trabajadas a la semana de su población ocupada y un factor de ajuste al ingreso, que corresponde al ingreso promedio de la población ocupada del país, expresado en número de salarios mínimos.

Debe mencionarse que para el presente estudio, el factor de ajuste se obtuvo a partir de la información sobre el promedio de los ingresos de la población ocupada en las distintas ramas económicas, con excepción de las que corresponden al sector primario, pues el número de personas que viajan por motivos de trabajo utilizando esta infraestructura no es significativo.

Es importante resaltar lo imprescindible de contar con una fuente de información confiable, como los Censos de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI, ya que en ellos se encuentra concentrada la información requerida para obtener el ingreso horario de los usuarios del sistema de transporte nacional.

Para estimar el ingreso horario (salario horario) de los pasajeros se recurre a la expresión siguiente:

$$\text{SHP} = (\text{FIP} * (\text{PSMG} * 7)) / \text{HTP}$$

Donde:

SHP = Salario horario de los pasajeros en vehículos ligeros y autobuses foráneos.

FIP = Factor de ajuste al ingreso (promedio de los ingresos en salarios mínimos de la población ocupada del país).

PSMG = Promedio de los salarios diarios mínimos generales.

HTP = Promedio de las horas trabajadas a la semana de la población ocupada del país.

7 = Días / semana.

4.2.4 Nivel de ocupación de los vehículos y motivo del viaje de los pasajeros

El nivel de ocupación de los vehículos está conformado por el número promedio de personas que viajan en vehículos ligeros y en unidades de transporte público de pasajeros, así como por el número de conductores que operan las unidades y

se obtiene de la información que se consigna en las encuestas origen – destino de las carreteras de red en análisis.

La Dirección General de Servicios Técnicos de la Subsecretaría de Infraestructura de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, realiza encuestas origen – destino en puntos específicos de las principales carreteras regionales del país. En estas encuestas se obtienen tanto el nivel de ocupación de los vehículos circulantes, como el motivo del viaje de los pasajeros.

En los cuadros 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7, se consigna la información relativa al estudio O-D de la estación "La Fortuna", sobre la carretera Irapuato –León", realizado en 1994⁴, en los que se consigna información sobre los volúmenes de tránsito, clasificación vehicular, ocupación promedio de vehículos ligeros y autobuses, motivo del viaje, número promedio de tripulantes de las unidades de carga, número de toneladas transportadas por tipo de producto, y distribución del peso promedio por eje y por tipo de vehículo. En el cuadro 4.5 se muestra también la información del volumen vehicular por ruta, de gran utilidad en los análisis de asignación de tránsito.

Las encuestas en los puntos seleccionados de las carreteras deberían realizarse anualmente, pero debido a los escasos recursos presupuestarios de que dispone la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, no siempre se efectúan en el mismo punto, buscando incrementar la cobertura de información en las redes por región.

Se llevan a cabo estudios de campo para casos específicos, realizándose normalmente con encuestas durante cuatro días de la semana, haciendo coincidir el estudio con un fin de semana para captar la variación de tránsito que pudiese presentarse, por mayores aforos en estos días. En estos casos, la información se complementa al establecer correlaciones entre estos estudios y los que se realizan para medir el aforo vehicular.

Es conveniente así contar con información al detalle sobre la variación de la demanda en forma horaria, diaria, semanal y mensual, la última (mensual), normalmente esta disponible en los Datos Viales que anualmente edita la SCT a través de la Dirección General de Servicios Técnicos.

La información que se obtiene de los estudios O-D y de los Datos Viales que publica la SCT, permite determinar los factores de expansión de la muestra para llevar a cabo la prospección del TDPA en el tramo en estudio.

⁴ Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Servicio Técnicos.- *"Estudios de origen, destino y peso 1992-1994"*, México, D.F. 1995

4.3 Consideraciones sobre el peaje de carreteras de cuota

El costo del peaje es otro de los componentes que es necesario considerar en la determinación del costo generalizado del transporte. Estos costos son los que mayor impacto tienen en el comportamiento de los flujos, ya que una variación en el peaje, tiende a impactar inmediatamente el comportamiento de la demanda en el transporte, sobre todo en el de mercancías, en las etapas de distribución y consumo del producto.

El impacto psicológico del incremento de las cuotas (peaje) es inmediato, aun y cuando en términos reales no se llegue a presentar, es decir cuando el incremento se encuentre por debajo del derivado de la inflación.

Considerar adecuadamente este tipo de costos en el costo generalizado del transporte, puede ser de gran ayuda en la justificación económica y financiera de nuevos proyectos de inversión en infraestructura carretera, es por ello que el analista deberá procurar obtener la información necesaria para su estimación de fuentes confiables de información.

La información sobre los niveles de cuota que paga el usuario por circular en autopistas de cuota, se obtiene a partir de las consultas que los especialistas en el análisis económico de proyectos realicen a las empresas privadas, sociedades administradoras y empresas del Estado encargadas de operar esas carreteras.

Los datos por consultar se refieren al peaje que debe cubrir el usuario de acuerdo al tipo de vehículo que utilice, esta cuota esta en función de la distancia que recorre, permitiendo con ello calcular el peaje por kilómetro y por tipo de vehículo, información que permite deducir los ingresos totales por concepto del cobro de cuota, pudiendo estimar el costo generalizado del transporte y su impacto en el comportamiento de la demanda. Ante eventuales incrementos o decrementos en el monto del peaje, se pueden realizar estudios de sensibilidad al pago de cuota, considerando además distintas composiciones vehiculares.

Cuadro 4.3
Volúmenes de tránsito y clasificación vehicular

SINTESIS DEL ESTUDIO DE ORIGEN, DESTINO Y PESO							
ESTACION LA "FORTUNA"							
CARRETERA: IRAPUATO - LEON		141+000					
TRAMO: LOS INFANTES - SILAO		DEL 18 AL 21 DE OCTUBRE DE 1994					
1.- VOLUMENES DE TRANSITO							
HACIA: LEON	29491		HACIA: LEON		HACIA: IRAPUATO		AMBOS SENTIDOS
HACIA: IRAPUATO	29289	PROMEDIO DIARIO	7373		7322		14695
TOTAL AFORADO	58780	MAXIMO HORARIO	559		652		1211
TRANSITO DIARIO	HACIA: LEON	MAXIMO HORARIO		HACIA: IRAPUATO	MAXIMO HORARIO		TOTAL
		A.M	P.M		A.M	P.M	
LUNES							
MARTES	7029	552	448	6605	416	497	13634
MIERCOLES	6961	470	432	7455	490	573	14416
JUEVES	7329	510	505	7247	374	534	14576
VIERNES	8172	490	559	7982	485	652	16154
SABADO							
DOMINGO							
	TOTAL			29289			58780
	29491						
2.- CLASIFICACION VEHICULAR							
TIPO DE VEHICULO	HACIA: LEON	HACIA: IRAPUATO		TOTAL	%		
A	11872	11826		23698	40		
U	8209	8367		16576	28		
B	1840	1754		3594	6		
C2	3097	2970		6067	10		
C3	2098	2050		4148	7		
T3-S2	1171	1089		2260	4		
T3-S3	879	882		1761	3		
T3-S2-R4	102	92		194	0		
OTROS	223	259		482	1		
	TOTAL	29289		58780	100		
	29491						

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos.- "Estudios de origen, destino y peso 1992-1994", México, D.F. 1995

Cuadro 4.4
Ocupación vehicular y motivo del viaje

3.- PROMEDIO DE PASAJEROS POR VEHICULO Y POR SENTIDO						
TIPO DE VEHICULO	HACIA: LEON		HACIA: IRAPUATO		AMBOS SENTIDOS	
AUTOMOVILES	2.1		2.0		2.1	
AUTOBUSES	16.9		16.5		16.7	

4.- PROMEDIO DE TRIPULANTES POR VEHICULO						
TIPO DE VEHICULO	HACIA: LEON		HACIA: IRAPUATO		AMBOS SENTIDOS	
U	2.4		2.3		2.3	
B	1.2		1.2		1.2	
C2	1.8		1.9		1.9	
C3	1.5		1.5		1.5	
T3-S2	1.3		1.3		1.3	
T3-S3	1.3		1.3		1.3	
T3-S2-R4	1.2		1.1		1.2	
OTROS	1.5		1.5		1.5	

5.- MOTIVO DEL VIAJE (PASAJEROS EN AUTOMOVIL)						
TIPO DE VEHICULO	HACIA: LEON		HACIA: IRAPUATO		AMBOS SENTIDOS	
TRABAJO	13271	53%	12599	52%	25870	52%
PASEO	11857	47%	11576	48%	23433	48%

6.- CAMIONES CON CARGA Y SIN CARGA POR SENTIDO						
TIPO DE VEHICULO	HACIA: LEON		HACIA: IRAPUATO		AMBOS SENTIDOS	
	CON CARGA	SIN CARGA	CON CARGA	SIN CARGA	CON CARGA	SIN CARGA
C2	1782	1315	1524	1446	3306	2761
C3	1331	767	1218	832	2549	1599
T3-S2	761	410	723	366	1484	776
T3-S3	626	253	517	365	1143	618
T3-S2-R4	82	20	42	50	124	70
OTROS	122	101	153	106	275	207
TOTAL	4704	2866	4177	3165	8881	6031

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos. "Estudios de origen, destino y peso 1992-1994", México, D.F. 1995

Cuadro 4.5
Carga transportada por tipo de producto por sentido

TONELADAS TRANSPORTADAS POR TIPO DE PRODUCTO Y POR SENTIDO														
SENTIDO 1		HACIA: LEON												
TIPO DE PRODUCTO	TONELADAS TRANSPORTADAS													
	C2		C3		T3-S2		T3-S3		T3-S2-R4		OTROS		SUBTOTAL	
	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.
1.- AGRICOLAS	260	997	278	3581	83	1752	132	4459	1	10	17	256	771	11055
2.- ANIMALES	92	404	93	958	60	1126	19	518	2	85	7	101	273	3192
3.- FORESTALES	10	33	12	141	3	46	2	35	0	0	0	0	27	255
4.- INORGANICOS	68	473	76	1130	16	409	33	1003	2	95	9	169	204	3279
5.- INDUSTRIALES	1168	4341	722	6959	417	7614	298	7698	37	1344	69	845	2711	28801
6.- MINERALES	17	82	9	47	7	182	3	72	3	122	1	11	40	516
7.- DERIVADOS DEL PETROLEO	28	238	22	262	91	2004	81	2697	31	1407	5	143	258	6751
8.- VARIOS	139	505	119	1087	84	1357	58	1335	6	60	14	190	420	4534
TOTAL	1782	7073	1331	14165	761	14490	626	17817	82	3123	122	1715	4704	58383
PROMEDIO DE TONELADAS TRANSPORTADAS POR TIPO DE VEHICULO	4		11		19		28		38		14		12	
SENTIDO 2		HACIA: IRAPUATO												
TIPO DE PRODUCTO	TONELADAS TRANSPORTADAS													
	C2		C3		T3-S2		T3-S3		T3-S2-R4		OTROS		SUBTOTAL	
	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.
1.- AGRICOLAS	228	894	220	2483	54	1103	45	1259	1	50	15	167	563	5956
2.- ANIMALES	128	576	266	2872	211	4301	70	1891	7	310	33	580	715	10530
3.- FORESTALES	12	41	8	92	3	45	4	103	0	0	1	17	28	298
4.- INORGANICOS	42	401	63	1027	12	338	50	1531	0	0	3	58	170	3355
5.- INDUSTRIALES	944	3064	552	4688	347	5668	275	6866	23	733	80	982	2221	22001
6.- MINERALES	13	63	5	42	5	98	6	112	0	0	0	0	29	315
7.- DERIVADOS DEL PETROLEO	18	96	32	419	34	606	29	905	6	216	8	182	127	2424
8.- VARIOS	139	477	72	545	57	680	38	1202	5	95	13	172	324	3171
TOTAL	1524	5612	1218	12168	723	12839	517	13869	42	1404	153	2158	4177	48050
PROMEDIO DE TONELADAS TRANSPORTADAS POR TIPO DE VEHICULO	4		10		18		27		33		14		12	

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos.- "Estudios de origen, destino y peso 1992-1994", México, D.F. 1995

Cuadro 4.6
Carga transportada por producto en ambos sentidos

AMBOS SENTIDOS														
TIPO DE PRODUCTO	TONELADAS TRANSPORTADAS													
	C2		C3		T3-S2		T3-S3		T3-S2-R4		OTROS		SUBTOTAL	
	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.	No. DE VEH.	TON.
1.- AGRICOLAS	488	1891	498	6064	137	2855	177	5718	2	60	32	423	1334	17011
2.- ANIMALES	220	980	359	3829	271	5428	89	2409	9	395	40	681	988	13722
3.- FORESTALES	22	74	20	233	6	91	6	138	0	0	1	17	55	553
4.- INORGANICOS	110	874	139	2157	28	747	83	2533	2	95	12	227	374	6633
5.- INDUSTRIALES	2112	7405	1274	11647	764	13282	573	14563	60	2077	149	1828	4932	50802
6.- MINERALES	30	144	14	88	12	280	9	184	3	122	1	11	69	829
7.- DERIVADOS DEL PETROLEO	46	334	54	681	125	2610	110	3602	37	1623	13	325	385	9175
8.- VARIOS	278	982	191	1632	141	2037	96	2537	11	155	27	362	744	7705
TOTAL	3306	12684	2549	26331	1484	27330	1143	31684	124	4527	275	3874	8881	106430
PROMEDIO DE TONELADAS TRANSPORTADAS POR TIPO DE VEHICULO	4		10		18		28		37		14		12	

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos.- "Estudios de origen, destino y peso 1992-1994", México, D.F. 1995

Cuadro 4.7
Distribución del peso vehicular

DISTRIBUCION DEL PESO PROMEDIO POR EJE Y POR TIPO DE VEHICULO DEL TOTAL DE CAMIONES REGISTRADOS											
CARRETERA: IRAPUATO - LEON			Km: 141+000				ESTACION: "LA FORTUNA"				
TIPO DE VEHICULO	TOTAL DE VEHICULOS	PESO BRUTO VEHICULAR PROM. (TON.)	PESO PROMEDIO POR EJE (TONELADAS)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
C2	6067	6,41	1,87	4,54							
C3	4148	17,20	3,82	6,74	6,64						
T3-S2	2260	31,97	4,28	6,90	7,03	6,57	7,19				
T3-S3	1761	42,71	4,34	8,20	8,37	6,97	7,23	7,60			
T3-S2-R4	194	59,37	4,60	7,43	7,53	7,25	7,44	6,16	5,97	6,26	6,74

DISTRIBUCION DEL PESO PROMEDIO POR EJE Y POR TIPO DE VEHICULO DEL TOTAL DE VEHICULOS CARGADOS											
CARRETERA: IRAPUATO - LEON			Km: 141+000				ESTACION: "LA FORTUNA"				
TIPO DE VEHICULO	TOTAL DE VEHICULOS CARGADOS	PESO BRUTO VEHICULAR PROM. (TON.)	PESO PROMEDIO POR EJE (TONELADAS)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
C2	3306	7,46	2,08	5,38							
C3	2549	20,70	4,12	8,28	8,31						
T3-S2	1484	37,19	4,32	8,03	8,12	8,03	8,69				
T3-S3	1143	52,54	4,45	10,11	10,21	8,96	9,21	9,60			
T3-S2-R4	124	70,54	4,80	8,77	8,88	8,77	8,96	7,45	7,24	7,62	8,06

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos.- "Estudios de origen, destino y peso 1992-1994", México, D.F. 1995

Cuadro 4.8
Volúmenes de tránsito por ruta

Estudio de origen, destino y peso en la estación: "La Fortuna"											
Carretera: Irapuato - León			Tramo: Los Infantes - Silao			Km: 141 + 000					
Rutas Principales			Composición vehicular			Total	% del Total	Promedio Diario	Composición vehicular		
			A + U	B	C				A + U	B	C
Irapuato	Gto. Silao	Gto.	4,828	297	775	5,900	10.04	1,475	82	5	13
Irapuato	Gto. Romita	Gto.	456	2	158	616	1.05	154	74	0	26
Silao	Gto. León	Gto.	111	6	27	144	0.24	36	77	4	19
Silao	Gto. El Espejo	Gto.	110	13	14	137	0.23	34	80	9	10
Guanajuato	Gto. Silao	Gto.	88	5	13	106	0.18	27	83	5	12
Silao	Gto. La Maraña	Gto.	57	0	7	64	0.11	16	89	0	11
Medio Sitio	Gto. Silao	Gto.	48	3	7	58	0.10	15	83	5	12
Silao	Gto. Aldama	Gto.	46	0	12	58	0.10	15	79	0	21
León	Gto. Irapuato	Gto.	9,901	374	1,715	11,990	20.40	2,998	83	3	14
León	Gto. Salamanca	Gto.	2,098	24	388	2,510	4.27	628	84	1	15
Salamanca	Gto. Silao	Gto.	691	65	120	876	1.49	219	79	7	14
Irapuato	Gto. Guanajuato	Gto.	723	16	26	765	1.30	191	95	2	3
Celaya	Gto. Silao	Gto.	490	9	85	584	0.99	146	84	2	15
Aeropuerto de León	Gto. Irapuato	Gto.	190	0	3	193	0.33	48	98	0	2
Guanajuato	Gto. Salamanca	Gto.	148	1	1	150	0.26	38	99	1	1
Guanajuato	Gto. León	Gto.	132	5	12	149	0.25	37	89	3	8
Irapuato	Gto. San Francisco	Gto.	118	1	21	140	0.24	35	84	1	15
Valle de Santiago	Gto. Silao	Gto.	77	0	24	101	0.17	25	76	0	24
Silao	Gto. Abasolo	Gto.	43	1	46	90	0.15	23	48	1	51
Silao	Gto. Penjamo	Gto.	62	1	10	73	0.12	18	85	1	14
San Francisco del Rincon	Gto. Irapuato	Gto.	63	0	9	72	0.12	18	88	0	13
México	D.F. León	Gto.	2,175	580	1,587	4,342	7.39	1,086	50	13	37
León	Gto. Celaya	Gto.	2,853	168	715	3,736	6.36	934	76	4	19
Querétaro	Qro. León	Gto.	1,803	93	517	2,413	4.11	603	75	4	21

Cuadro 4.8
Volúmenes de tránsito por ruta (continuación)

Estudio de origen, destino y peso en la estación: "La Fortuna"											
Carretera: Irapuato - León			Tramo: Los Infantes - Silao			Km: 141 + 000					
Rutas Principales			Composición vehicular			Total	% del Total	Promedio Diario	Composición vehicular		
			A + U	B	C				A + U	B	C
México	D.F. Aguascalientes	Ags.	629	314	914	1,857	3.16	464	34	17	49
Morelia	Mich. León	Gto.	889	214	267	1,370	2.33	343	65	16	19
México	D.F. Guanajuato	Gto.	502	95	33	630	1.07	158	80	15	5
Moreleon	Gto. León	Gto.	505	57	67	629	1.07	157	80	9	11
Aguascalientes	Ags Irapuato	Gto.	328	19	223	570	0.97	143	58	3	39
México	D.F. Silao	Gto.	272	43	138	453	0.77	113	60	9	30
Aguascalientes	Ags Querétaro	Qro.	264	43	111	418	0.71	105	63	10	27
Abasolo	Gto. León	Gto.	155	0	263	418	0.71	105	37	0	63
León	Gto. Valle de Santiago	Gto.	335	20	57	412	0.70	103	81	5	14
Celaya	Gto. Aguascalientes	Ags.	149	32	171	352	0.60	88	42	9	49
Celaya	Gto. Guanajuato	Gto.	332	5	6	343	0.58	86	97	1	2
León	Gto. Toluca	Méx.	160	22	153	335	0.57	84	48	7	46
Cortazar	Gto. León	Gto.	202	1	86	289	0.49	72	70	0	30
Guadalajara	Jal. México	D.F.	164	14	110	288	0.49	72	57	5	38
México	D.F. Lagos de Moreno	Jal.	60	13	206	279	0.47	70	22	5	74
Penjamo	Gto. León	Gto.	213	4	50	267	0.45	67	80	1	19
Querétaro	Qro. Silao	Gto.	213	6	41	260	0.44	65	82	2	16
Morelia	Mich. Aguascalientes	Ags.	108	56	93	257	0.44	64	42	22	36
México	D.F. San Juan de los Lagos	Jal.	67	135	53	255	0.43	64	26	53	21
Lagos de Moreno	Jal. Irapuato	Gto.	153	4	61	218	0.37	55	70	2	28
San Luis Potosí	S.L.P. Irapuato	Gto.	101	11	105	217	0.37	54	47	5	48
Puebla	Pue. León	Gto.	89	3	114	206	0.35	52	43	1	55
Guadalajara	Jal. Irapuato	Gto.	172	2	27	201	0.34	50	86	1	13

Cuadro 4.8
Volúmenes de tránsito por ruta (continuación)

Estudio de origen, destino y peso en la estación: "La Fortuna"											
Carretera: Irapuato - León			Tramo: Los Infantes - Silao			Km: 141 + 000					
Rutas Principales			Composición vehicular			Total	% del Total	Promedio Diario	Composición vehicular		
			A + U	B	C				A + U	B	C
Toluca	Méx. Aguascalientes	Ags.	34	11	134	179	0.30	45	19	6	75
Querétaro	Qro. Guanajuato	Gto.	167	4	4	175	0.30	44	95	2	2
Guadalajara	Jal. León	Gto.	58	4	98	160	0.27	40	36	3	61
Acambaro	Gto. León	Gto.	118	2	33	153	0.26	38	77	1	22
Irapuato	Gto. Zacatecas	Zac.	68	1	83	152	0.26	38	45	1	55
Aguascalientes	Ags Cuernavaca	Mor.	8	0	142	150	0.26	38	5	0	95
Celaya	Gto. Lagos de Moreno	Gto.	92	1	56	149	0.25	37	62	1	38
Tepatitlan de Morelos	Jal. México	D.F.	5	0	141	146	0.25	37	3	0	97
Moreleon	Gto. Aguascalientes	Ags.	100	5	41	146	0.25	37	68	3	28
Morelia	Mich. Silao	Gto.	83	8	34	125	0.21	31	66	6	27
Salvatierra	Gto. León	Gto.	90	1	34	125	0.21	31	72	1	27
Guadalajara	Jal. Silao	Gto.	22	1	101	124	0.21	31	18	1	81
León	Gto. Pachuca	Hgo.	65	1	55	121	0.21	30	54	1	45
Aguascalientes	Ags Salamanca	Gto.	61	1	58	120	0.20	30	51	1	48
León	Gto. San Juan del Río	Qro.	49	2	69	120	0.20	30	41	2	58
La Piedad	Mich. León	Gto.	80	4	35	119	0.20	30	67	3	29
Guadalajara	Jal. Querétaro	Qro.	92	2	22	116	0.20	29	79	2	19
Guadalajara	Jal. Celaya	Gto.	94	0	19	113	0.19	28	83	0	17
México	D.F. Zacatecas	Zac.	51	11	39	101	0.17	25	50	11	39
Morelia	Mich. Guanajuato	Gto.	86	6	4	96	0.16	24	90	6	4
Uriangato	Gto. León	Gto.	77	3	15	95	0.16	24	81	3	16
Lagos de Moreno	Jal. Querétaro	Qro.	41	6	39	86	0.15	22	48	7	45
Puebla	Pue. Aguascalientes	Ags.	19	2	61	82	0.14	21	23	2	74
León	Gto. Villagran	Gto.	40	1	35	76	0.13	19	53	1	46

Cuadro 4.8
Volúmenes de tránsito por ruta (continuación)

Estudio de origen, destino y peso en la estación: "La Fortuna"											
Carretera: Irapuato - León			Tramo: Los Infantes - Silao			Km: 141 + 000					
Rutas Principales			Composición vehicular			Total	% del Total	Promedio Diario	Composición vehicular		
			A + U	B	C				A + U	B	C
San Luis Potosí	S.L.P. Morelia	Mich.	12	58	6	76	0.13	19	16	76	8
Lagos de Moreno	Jal. Morelia	Mich.	36	4	34	74	0.13	19	49	5	46
Monterrey	N.L. Irapuato	Gto.	27	4	42	73	0.12	18	37	5	58
Zamora	Mich. León	Gto.	36	3	33	72	0.12	18	50	4	46
Zacatecas	Zac. Morelia	Mich.	27	1	44	72	0.12	18	38	1	61
León	Gto. Apaseo El Grande	Gto.	61	0	10	71	0.12	18	86	0	14
Juventino Rosas	Gto. León	Gto.	45	1	23	69	0.12	17	65	1	33
Celaya	Gto. Zacatecas	Zac.	31	2	36	69	0.12	17	45	3	52
León	Gto. Veracruz	Ver.	29	2	38	69	0.12	17	42	3	55
Lagos de Moreno	Jal. Salamanca	Gto.	47	1	19	67	0.11	17	70	1	28
Torreón	Coah. Irapuato	Gto.	12	2	50	64	0.11	16	19	3	78
San Juan de los Lagos	Jal. Querétaro	Qro.	24	18	21	63	0.11	16	38	29	33
Zacatecas	Zac. Salamanca	Gto.	14	0	48	62	0.11	16	23	0	77
México	D.F. San Francisco	Gto.	44	0	16	60	0.10	15	73	0	27
México	D.F. San Juan	Jal.	15	30	14	59	0.10	15	25	51	24
Irapuato	Gto. San Juan de los Lagos	Jal.	43	2	14	59	0.10	15	73	3	24
Guadalajara	Jal. Salamanca	Gto.	39	1	18	58	0.10	15	67	2	31
México	D.F. Tijuana	B.C.	14	5	37	56	0.10	14	25	9	66

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Servicio Técnicos.- "Estudios de origen, destino y peso 1992-1994", México, D.F. 1995

El análisis del comportamiento de la demanda, proporciona los elementos suficientes para llevar a cabo reasignaciones de tránsito puntuales, en el espacio y en el tiempo. En el espacio, puesto que es posible estudiar estas reasignaciones en uno o varios de los tramos que conforman una carretera o ruta, y en el tiempo dado que puede reasignarse anualmente el tránsito durante el horizonte económico seleccionado.

Finalmente, una vez determinados los distintos componentes de costo que integran el Costo Generalizado del Transporte, se procede a determinar éste utilizando la expresión siguiente:

$$\text{CGT} = (\text{COV} * \text{D}) + \text{CTR}_D + (\text{P} * \text{D})$$

Donde:

CGT = Costo de Generalizado de Transporte (\$/Km.)

COV = Costo de Operación Vehicular (\$/Km.)

CTR = Costos del tiempo de recorrido. (\$/Km.)

P = Peaje (\$/Km.)

D = Distancia (Km.), (Del tramo, de la carretera o de la ruta por recorrer en Km.)

5 Implicaciones de la asignación adecuada del tránsito en el entorno económico y social

Los distintos métodos expuestos en capítulos precedentes, muestran ventajas y desventajas en su aplicabilidad. La utilización de uno no descalifica al otro, por el contrario ambos pueden ser complementarios, dependiendo del tipo de análisis que se lleve a cabo. Si como se ha mostrado las características físicas de la superficie de rodadura no incide en la determinación del costo generalizado del transporte, el método de la AASHTO, arroja resultados aceptables en la asignación o reasignación de tránsito, aunque es recomendable realizar estudios de campo para efectuar mediciones de velocidad de punto que permitan estimar el tiempo de recorrido lo más apegado a la realidad.

Por otra parte la variable del estado físico de la superficie de rodadura debe ser considerada en redes carreteras de países que como México presentan una gran diversidad en clima y en actividad económica, ya que el deterioro de la superficie de rodamiento es sensible a la presencia de agua y al peso de los distintos vehículos que transitan por ellas.

5.1 Impacto económico de una adecuada distribución de tránsito en una red regional de carreteras

Una adecuada distribución del tránsito en una red regional de carreteras trae consigo ahorros en el costo de operación vehicular, que incide en los estados financieros de las empresas transportistas. Además el contar con una mejor distribución del tránsito, en la que se busca el menor costo generalizado del transporte, conlleva necesariamente a un deterioro menos agresivo en la superficie de rodadura y en la subestructura de las carreteras, en las cuales se puede prolongar la periodicidad de las acciones de mantenimiento.

Al respecto, la Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL) de Naciones Unidas señala que “Sólo en países de América Latina y el Caribe, las graves deficiencias en materia de conservación de la red vial interurbana y rural causaron una reducción del valor neto de la red de caminos de alrededor de 2000 millones de dólares” (Schliessler A., Bull A.)⁵

⁵ Schliessler A., Bull A.- “Caminos, Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales, Naciones Unidas, Comisión Económica Para América Latina y El Caribe, Santiago de Chile, 1994.

Ese estudio se llevó a cabo en la década de los ochenta, sin embargo las consecuencias aún son vigentes para muchos países ya que es evidente que los caminos deteriorados significan un serio freno para el desarrollo económico y social,

El problema no sólo se circunscribe a la pérdida de la infraestructura; los usuarios de los caminos están obligados a pagar anualmente una suma similar a la ya mencionada en costos adicionales por concepto de la operación de los vehículos, debido a las malas condiciones en que se encuentran muchos de los caminos. En los países cuyas redes viales están en pésimas condiciones, los costos innecesarios de operación llegan a representar el 1 % del Producto Interno Bruto (PIB). Si a estos montos se adiciona el costo de reconstrucción evitable, se llega a valores de entre 1% y 2% del PIB, cargos que pueden evitarse con una buena gestión de conservación carretera.⁶

La herramienta propuesta en este estudio sobre la asignación o reasignación de tránsito, puede ser un elemento de análisis sobre la óptima utilización de recursos, permitiendo a los responsables de integrar el Presupuesto de Egresos de la Federación programar mayores recursos para mejorar las condiciones de vida de la población localizada en zonas o regiones con niveles de marginación desfavorables para su desarrollo.

5.2 Compatibilidad de los modelos de reasignación de tránsito con la política social del país

Es innegable la necesidad de construir obras de infraestructura que económicamente no son rentables, pero que son fundamentales para mejorar el nivel de vida de la población, pues permiten el acceso a servicios básicos de salud y educación. De ahí la importancia de herramientas que permitan llevar a cabo los estudios adecuados de la etapa de planeación, para que con base en ellos se programen inversiones, que si bien en forma aislada no tienen una recuperación económica, si tienen repercusiones en el modelo de desarrollo adoptado por el mundo occidental.

Los gastos innecesarios tienen un impacto directo en la sociedad, ya que los prestadores de servicios, no sólo de transporte, basan sus políticas de tarifas en el costo de los insumos para la prestación del servicio, y en la utilidad y rapidez de reinversión del capital. En la medida en que se abatan los costos innecesarios, podrá contarse con políticas de tarifas más adecuadas para los usuarios. Asimismo, si se logra acelerar la velocidad de reinversión del capital, éste se multiplicará en la misma medida y consecuentemente los dividendos o utilidades

⁶ Op. Cit.

de los prestatarios de servicios, logrando con ello apoyar la generación de empleos o bien facilitando una mayor captación de impuestos (en sus diversas manifestaciones, al activo de las empresas, sobre los ingresos personales, sobre las utilidades) y consecuentemente con más cantidad de recursos para programas sociales que mejoren el nivel de vida de la población.

Los métodos de asignación muestran cómo se puede mejorar el costo del transporte desde varios puntos de vista.

El usuario de la infraestructura carretera, puede elegir la alternativa de viaje que le convenga, considerando alguna de las variables que intervienen en el cálculo del costo, que para él sea la de mayor representatividad; y el prestador del servicio, ya sea público o privado, podrá seleccionar las políticas de conservación, mantenimiento, reconstrucción y en su caso modernización de la infraestructura carretera.

Mejorar la accesibilidad en las distintas regiones del país, estimula la relocalización de la actividad económica y origina un cambio de vocación productiva en ellas.

El Sector Transporte, puede ser considerado como actividad productiva cuando sea concebido como negocio o empresa, pero también juega un papel importante como elemento de apoyo a otras actividades productivas del país (Islas R. V., Torres V. G., Rivera T. C.)⁷. El transporte en general y el carretero en particular constituye un soporte importante en la transformación y variación de la vocación productiva.

Los cambios de vocación experimentados en las distintas regiones, condicionan y orientan la dotación de servicios básicos de la población que no cuenta con ellos, es decir las relaciones de producción, permiten establecer o modificar el escenario en que se desarrollan las relaciones sociales, mismas que se mejoran o deterioran en función del nivel de accesibilidad y del nivel de ingreso con que cuentan los habitantes de cada una de las regiones del territorio.

⁷ Islas R. V., Torres V. G., Rivera T. C. -Publicación Técnica N° 149 "Productividad en el Transporte Mexicano" Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro., 2000

6 Aplicación de los distintos métodos de asignación de tránsito a una red regional de carreteras

Los estudios de caso en las distintas regiones del territorio nacional, presentan los resultados de la aplicación de los dos métodos descritos y permiten que los técnicos responsables del análisis económico de los proyectos, empleen estas herramientas en estudios para la estimación de la tarifa óptima de peaje, cuando la alternativa por considerar sea la construcción de una obra nueva concesionada. También son de utilidad para la evaluación económica de proyectos de modernización con y sin peaje, o simplemente para determinar la política de conservación por emplear para garantizar un buen nivel de operación de las carreteras.

Con apoyo en los estudios Origen-Destino, de los Datos Viales, publicados por la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, El Manual de Capacidad Vial, y de algunas herramientas que consideran la estadística y la informática, se construyeron una serie de algoritmos que permiten estimar costos de operación vehicular, los tiempos de recorrido y el peaje de las carreteras de cuota, los cuales, al aplicarse a las distintas alternativas de viaje, proporcionan rápidamente el costo generalizado del transporte para cada uno de los arcos que forman la red, con la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad a cada una de las variables consideradas en la determinación del costo. El método se ha desarrollado de conformidad con los estudios O-D basados en las preferencias declaradas de los usuarios, sin embargo es necesario realizar estudios ex-post para ajustar este tipo de herramientas a las preferencias observadas.

Aprovechando los resultados de los métodos de asignación en dos de los tres casos de análisis presentados, se crea una serie de escenarios para determinar la tarifa óptima del peaje en las autopistas de cuota, a partir de una reasignación de tránsito y un incremento o reducción del peaje, los cuales se encuentran en función de los ingresos totales en la carretera de cuota y del costo generalizado del transporte por tipo de vehículo y por alternativa de circulación.

Por último, presenta un diagnóstico general del impacto económico que se genera en las pequeñas redes regionales de carreteras en el país, debido al desconocimiento de los costos asociados a la circulación en dichas vías.

6.1 Red regional Querétaro-Zacatecas. Estudio de caso

La pequeña red regional identificada entre las ciudades de Querétaro y Zacatecas, tiene influencia directa en la operación de uno de los principales ejes troncales; el

eje Querétaro-Cd. Juárez. La red en estudio esta conformada por tres posibles itinerarios alternos, 1) Querétaro – San Luis Potosí – Zacatecas; 2) Querétaro – Celaya – Irapuato – León – Aguascalientes – Zacatecas, (en su totalidad libre); y 3) Querétaro – Celaya – Irapuato (cuota), Irapuato - León (libre), León – Aguascalientes (cuota) y, Aguascalientes – Zacatecas (libre).

Esta pequeña red regional de carreteras, permite poner en práctica la aplicación de los métodos antes referidos.

Los métodos se aplicarán para analizar la posibilidad de contar con un proyecto nuevo en el tramo Irapuato-León con objeto de dar continuidad al arco Querétaro-Zacatecas (alternativa de cuota), ya que actualmente se cuenta con los tramos de cuota Querétaro - Celaya-Irapuato y León – Aguascalientes. Asimismo, se analizó su aplicación para la reasignación de tránsito para los arcos comprendidos entre Querétaro e Irapuato, en su trayecto libre y de cuota.

Al término del capítulo se presenta un cuadro resumen que muestra el costo generalizado del transporte para las tres posibles alternativas que integran la red regional Querétaro-Zacatecas.

6.2 Aplicación del método de la AASHTO a la alternativa: Nuevo proyecto en el tramo Irapuato-León

Las características de circulación en la carretera Irapuato – León, particularmente, el volumen de tránsito y el nivel servicio presentados en el año de 1999 (registros disponibles al inicio del presente trabajo), fueron parte importante por considerar para el uso de los métodos de asignación de tránsito en esa carretera.

Las características requeridas del proyecto nuevo, corresponden a una situación hipotética, toda vez que no se contó con información sobre el proyecto constructivo, considerándose por ello que sus características geométricas serán similares a las de los tramos de cuota existentes en el mismo arco.

En el cuadro 6.1 se muestran las principales características geométricas y operativas del proyecto nuevo. Asimismo, en el cuadro 6.2 se presentan las características de referencia para la situación actual o sin proyecto.

Para aplicar el método de la AASHTO, es necesario determinar el tiempo de recorrido promedio de los distintos tipos de vehículo y con la distancia por recorrer, determinar el factor de utilización (FU) como se indicó en el apartado 2.1.

Con la información contenida en los estudios Origen-Destino realizados en algunas rutas de la región, se lleva a cabo el análisis de rutas, que contienen información sobre el TDPA y la composición vehicular; con base en esta

información puede estimarse el volumen de tránsito susceptible de utilizar el proyecto nuevo.

Cuadro 6.1
Principales características geométricas y operativas de la situación deseable (con proyecto)

Características geométricas de la situación deseable (con proyecto)	
Tipo de carretera	Autopista
Longitud (Km)	54,6
Número de carriles	Dos por sentido
Ancho de carril (m)	3,5
Distancia a obstáculos laterales o acotamiento (m)	1,2
Obstáculos a ambos lados	No
Características operativas de la situación deseada (con proyecto)	
Velocidad de proyecto (Km)	110
Tipo de terreno	Plano
Familiarización del conductor con el camino (FCC)	Alta
Velocidades de operación (Km/h)	
<i>Vehículos ligeros (A)</i>	110
<i>Autobuses (B)</i>	90
<i>Camiones (C)</i>	75

Al analizar el tamaño de la muestra entrevistada y al consultar los datos viales editados por la SCT puede expandirse la muestra y estimarse el TDPA para el año 1999, año a que referimos el ejemplo de aplicación.

Cuadro 6.2
Principales características geométricas y operativas de la situación actual
(sin proyecto)

Características geométricas de la situación actual (sin proyecto)	
Tipo de carretera	Carriles múltiples
Longitud (Km)	60,2
Número de carriles	Dos por sentido
Ancho de carril (m)	3,5
Distancia a obstáculos laterales o acotamiento (m)	0,6
Obstáculos a ambos lados	No
Entorno	Suburbano
Carretera dividida	Si
Características operativas de la situación actual (sin proyecto)	
Velocidad de proyecto (km/h)	110
Tipo de terreno	Plano
Familiarización del conductor con el camino (FCC)	Alta
Nivel de servicio	C
Tránsito Diario Promedio Anual (veh./día)	20.452
Velocidades de operación (Km/h)	
<i>Vehículos ligeros (A)</i>	77
<i>Autobuses (B)</i>	72
<i>Camiones (C)</i>	53
Composición vehicular (%)	
<i>Vehículos ligeros (A)</i>	74
<i>Autobuses (B)</i>	7
<i>Camiones (C)</i>	19

En función del tipo de itinerario del TDPA susceptible de utilizar el proyecto, se selecciona el Factor de Cuota (FC) tal y como se mencionó en el apartado 2.3.2.

Para las condiciones con proyecto, las velocidades de operación consideradas son las que corresponden a las velocidades de proyecto por tipo de vehículo.

6.2.1 Determinación del nivel de servicio y velocidades de operación de la carretera y tiempos de recorrido (situación actual o sin proyecto)

Con ayuda de los datos de la figura 6.2 y de las expresiones que se muestran en el apartado 4.1.2, que se obtuvieron del Manual de Capacidad Vial, se determina el volumen y el nivel de servicio en que opera la carretera actualmente (situación actual o sin proyecto) el cual permite determinar la velocidad de operación para cada tipo de vehículo utilizando las expresiones consignadas en el apartado 4.1.3.

A partir de las distancias y las velocidades de operación para cada tipo de vehículo, tanto para la ruta con proyecto (proyecto nuevo hipotético) como para la ruta en la situación actual, se obtienen los tiempos de recorrido para ambos trayectos; los resultados se consignan en el cuadro 6.3.

Cuadro 6.3
Velocidades de operación, tiempos de recorrido y factores de utilización necesarios para la asignación de tránsito por el método de la AASHTO

Concepto	Ruta con proyecto nuevo			Ruta en la situación Actual		
	Tipo de vehículo			Tipo de vehículo		
	A	B	C	A	B	C
Distancia (Km)	54,6			60,2		
Velocidad de operación (Km/h)	110	90	75	74,01	72,91	48,60
Tiempo de recorrido (h)	0,496	0,606	0,728	0,813	0,825	1,238
Factor de Utilización (FU)				0,9508	0,8640	0,9604

6.2.2 Estimación del tránsito potencial por asignar

La información más reciente sobre los estudios Origen-Destino para éste tramo se obtuvo del estudio realizado por la Dirección General de Servicios Técnicos para el año 1994. La encuesta Origen-Destino y Peso se efectuó del 18 al 21 de octubre de 1994, en la estación “La Fortuna” ubicada en el kilómetro 141+ 000 del tramo Los Infantes – Silao de la carretera Irapuato –León⁸.

Pero como a partir de los registros de los datos viales de las principales carreteras del país⁹, se encontró que el TDPA para la carretera en análisis creció a un 5.86% anual durante el periodo 1994-1999, con esta tasa de crecimiento se proyectó el TDPA de la encuesta para el año de 1999.

Los volúmenes de tránsito por tipo de recorrido se obtuvieron del análisis de las principales rutas del estudio Origen-Destino referido anteriormente. El análisis de rutas comprendió al 85.06% del total de la muestra encuestada.

La muestra obtenida arrojó 12 049 vehículos ligeros, 1 140 autobuses y 3 094 camiones, conformando un total de 16 283 vehículos diarios.

Con la información disponible se identificaron los volúmenes de tránsito por tipo de vehículo para el corto, mediano y largo itinerarios, a los cuales se les aplicaron los factores de cuota de 0.4, 0.65 y 0.85 respectivamente y posteriormente se aplicaron los factores de utilización obtenidos en el cuadro 6.3, determinando con ello el tránsito por asignar al proyecto hipotético.

En el cuadro 6.4, se muestran los resultados obtenidos del análisis realizado.

Estos métodos resultan de gran utilidad para la realización de estudios de preinversión, toda vez que gran parte de la información y consideraciones sobre la operación de la red se realiza en gabinete con base en análisis estadísticos de información, que en la mayoría de los casos es muy heterogénea, por lo que en función de la utilidad que se quiera dar a estas herramientas deberá tomarse la decisión de realizar estudios de campo para contar con las preferencias declaradas del usuario y obtener datos más realistas.

8 Dirección General de Servicios Técnicos de la Subsecretaría de Infraestructura de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, “Estudios de Origen, Destino y Peso” 1992 – 1994.

9 Dirección General de Servicios Técnicos de la Subsecretaría de Infraestructura de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes “Datos Viales” 1992, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998 y 1999.

Cuadro 6.4
Determinación del tránsito por asignar al nuevo proyecto

Tipo de recorrido	Tipo de vehículo			Total
	A	B	C	
Corto	656	40	107	803
Mediano	3 183	107	532	3 822
Largo	4 254	612	2 270	7 136
Tránsito potencial por asignar (TP)	8 093	760	2 936	11 789
Factor de utilización (FU)	0,9508	0,8640	0,9604	0,9452
Tránsito por asignar (FU x TP)	7 695	656	2 792	11 144
Porcentaje del tránsito por asignar	63,87	57,59	90,26	68,44

Existe también la necesidad de realizar campañas para sensibilizar a los distintos usuarios de esta infraestructura, sobre los beneficios que representa dar un mayor uso a la infraestructura carretera de cuota.

Los estudios puntuales de campo, además de permitir contar con información de suma utilidad para la aplicación del método de la AASHTO modificado, pueden alimentar otro tipo de modelos como el que se ha descrito en el capítulo 4.

6.3 El costo generalizado del transporte aplicado al método de redes para analizar la alternativa: Nuevo proyecto en el tramo Irapuato-León

El método de redes contempla la incorporación de variables explicativas que influyen en la determinación de los beneficios debidos a los ahorros en los costos de operación vehicular y a los relativos al tiempo de recorrido. En este método también se recurrió al Manual de Capacidad Vial, para determinar las velocidades de operación asociadas a los volúmenes de tránsito que refleja el Nivel de Servicio.

Si no se cuenta con información de campo relativa al Índice Internacional de Rugosidad (IIR) y a la velocidad de operación por tipo de vehículo, se asocia la

velocidad obtenida en gabinete al IIR con base en las representaciones gráficas que proporciona la publicación técnica 30 del IMT¹⁰, obteniéndose con ello un IIR equivalente, al cual se encuentra asociado el Factor de Corrección del Costo de Operación (FCCO) el cual permite estimar el costo de operación vehicular a partir de los costos de operación base.

6.3.1 Estimación del nivel de servicio, velocidad de operación y tiempo de recorrido de los distintos tipos de vehículos usuarios de la carretera actual y del proyecto en el tramo Irapuato-León.

Como se mencionó en los apartados 6.2.1 y 6.2.2, los niveles de servicio, las velocidades de operación y tiempos de recorrido obtenidos utilizando el Manual de Capacidad Vial, constituyen el punto de partida para el cálculo de los costos de operación vehicular de los distintos tipos de vehículos que conforman el TDPA usuario. Al contar con las velocidades de operación del tramo actual y del proyecto, se obtiene un IIR equivalente para cada una de los vehículos, dependiendo del tipo de terreno en que se encuentran localizadas las alternativas actual y con proyecto.

Con base en la información que se consigna en el anexo 1 y determinado el FCCO por tipo de vehículo y tipo de terreno, se procede a calcular el costo de operación por vehículo y por unidad de longitud mediante la expresión expuesta en el apartado 4.1.4.

Obtenidas los costos de operación por tipo de vehículo se procede a calcular el costo de operación del tramo al multiplicar el costo de operación por tipo de vehículo por el TDPA, la composición vehicular del mismo y la distancia de recorrido del arco o tramo en estudio.

6.3.2 Estimación de los beneficios debidos a los ahorros en tiempo de recorrido

De los datos relativos a las velocidades de operación y la longitud de las condiciones con y sin proyecto consignadas en los cuadros 6.1 y 6.2, se determina el tiempo de recorrido para ambas condiciones, las diferencias que se presentan en los tiempos de recorrido para los distintos tipos de vehículos entre la situación

10 Op. Cit.

sin proyecto (actual) y la situación con proyecto (deseable), constituyen los beneficios debidos a los ahorros en tiempo para los conductores y ocupantes de los distintos vehículos.

Es conveniente mencionar que en el caso de los conductores de los distintos tipos de vehículos, no se consideró el ingreso de los conductores de autobús y camión que ya se incluye en el cálculo del costo de operación base del vehículo.

6.3.3 Cálculo del costo generalizado del transporte en el tramo Irapuato-León en presencia de un proyecto nuevo de cuota

Una vez determinados costos de operación vehicular y los beneficios debidos a los ahorros en tiempo de recorrido de una alternativa con respecto a la otra, se procedió a calcular el costo generalizado del transporte en las alternativas que se analizan.

En el caso de la situación con proyecto, como se trata de un proyecto nuevo con pago de peaje, se consideró inicialmente que por el proyecto nuevo circulan 3 vehículos, uno de cada tipo y a partir de esta situación se fijó la cuota (peaje) en un 80% de los ahorros (del costo generalizado del transporte) que presentaron cada uno de los vehículos, con ello se empezó a asignar el tránsito tendiendo a que la diferencia (ahorros) del costo generalizado del transporte de las dos alternativas fuese cero, es decir que la diferencia de los costos por tipo de vehículo de la alternativa sin proyecto, con los correspondientes de la alternativa con proyecto no presentaran valores negativos.

En el cuadro 6.5 se muestran los resultados obtenidos del análisis de ambas rutas.

Cuadro 6.5
Asignación de tránsito respecto al nivel de cuota del tramo Irapuato-León (1999)

Porcentaje de		Diferencial de costos de un vehículo (Cuota Vs Libre)			Costo generalizado del transporte de los tres tipos de vehículo		Ingresos diarios por peaje	TDPA		Vehículos asignados a Cuota	Nivel de Servicio		Ahorros en tiempo (C vs L)		
Redistribución	Reducción en la cuota	A	B	C	Cuota	Libre		Cuota	Libre		Cuota	Libre	A	B	C
0	0	29,50	107,82	150,52	1.178	1.538	0	3	22.475	-	A	D	0,32	0,25	0,51
4,00	0	1,56	13,06	15,78	1.474	1.504	52.123	899	21.576	899	A	D	0,25	0,20	0,47
4,00	5	3,04	18,45	23,30	1.460	1.504	49.517	899	21.576	899	A	D	0,25	0,20	0,47
4,00	10	4,51	23,85	30,83	1.445	1.504	46.911	899	21.576	899	A	D	0,25	0,20	0,47
4,00	15	5,99	29,24	38,35	1.431	1.504	44.305	899	21.576	899	A	D	0,25	0,20	0,47
5,00	20	6,34	54,11	3,80	1.417	1.481	52.123	1.124	21.351	1.124	A	C	0,24	0,24	0,41
7,00	25	6,24	56,57	2,41	1.402	1.467	68.412	1.573	20.902	1.573	A	C	0,24	0,24	0,40
9,00	30	6,27	59,00	0,91	1.388	1.454	82.094	2.023	20.452	2.023	A	C	0,23	0,23	0,39
10,00	35	7,09	62,90	3,87	1.374	1.447	84.700	2.247	20.227	2.247	A	C	0,23	0,23	0,39
12,00	40	7,23	65,52	2,19	1.359	1.434	93.822	2.697	19.778	2.697	A	C	0,22	0,22	0,38
14,00	45	7,35	68,17	1,44	1.345	1.422	100.337	3.146	19.328	3.146	A	C	0,21	0,21	0,37
16,00	50	7,47	70,81	1,43	1.331	1.410	104.246	3.596	18.879	3.596	A	C	0,21	0,21	0,36
27,00	55	2,89	60,74	3,46	1.317	1.384	158.324	6.068	16.407	6.068	A	C	0,17	0,18	0,31
67,00	60	2,00	21,76	0,13	1.307	1.331	349.226	15.058	7.417	15.058	B	A	0,09	0,09	0,10

Método de asignación de tránsito en redes regionales de carreteras: Dos alternativas de solución

Como puede apreciarse en el cuadro precedente, al incrementar el nivel de cuota el patrón de distribución vehicular cambia de tal forma que cuando los costos generalizados de transporte por tipo de vehículo tienden a igualarse, en ese momento es cuando se presenta el máximo nivel de cuota que pueden soportar los usuarios, sin embargo, no siempre se tienen ingresos óptimos por parte del administrador de la infraestructura como puede verse en el ejemplo de referencia.

Cuando se aplica únicamente el 80% de los ahorros en el costo generalizado del transporte por tipo de vehículo, en ese momento se tienen los mayores beneficios para los usuarios y el mejor nivel de ingresos diarios debidos al pago del peaje, logrando captar el nuevo proyecto un 67% del TDPA que circula por la carretera que actualmente se encuentra operando (situación sin proyecto).

Por otra parte a medida que el nivel de cuota disminuye el ingreso por concepto de peaje se incrementa sensiblemente, con lo que se obtendría un beneficio general, ya que no sólo se beneficia el usuario sino también el administrador de la carretera.

6.4 Aplicación del método de la AASHTO en la red carretera Querétaro-Irapuato

El método de la AASHTO, es una herramienta de gran utilidad para estudiar el comportamiento vehicular en redes de transporte ya existentes, sobre todo para mostrar a los usuarios, cuya variable principal es el tiempo de viaje, así como la distancia por recorrer la conveniencia de seleccionar los itinerarios de viaje con mayor eficiencia económica. Para mostrar la aplicación de este tipo de métodos se realizó el análisis de las dos alternativas que ofrece el arco Querétaro-Irapuato, una de ellas con peaje y la otra libre (sin peaje).

Las características de circulación en la carretera Querétaro-Irapuato, relativas al volumen de tránsito y el nivel servicio presentados en año de 1999 fueron fundamentales en la determinación del factor de utilización de este método.

En los cuadros 6.6 y 6.7 se muestran las características geométricas para cada una de las alternativas mencionadas.

Cuadro 6.6
Principales características geométricas y operativas de la alternativa libre

Principales características geométricas de la carretera de circulación libre.			
Tipo de carretera	Dos carriles	Carriles múltiples	Total
Distancia	81.2 Km.	32.5 Km.	113.7 Km.
Tipo de terreno	Plano	Plano	---
Número de carriles	Uno por sentido	Dos por sentido	---
Velocidad de proyecto	---	110 Km/h	---
Ancho de carril	3.5 m	3.5 m	---
Ancho de acotamiento	0.6 m	0.6 m	---
Obstáculos a ambos lados	---	No	---
Carretera	---	Suburbana	---
Carretera dividida	---	Si	---
FCC	---	Alta	---
Distribución direccional	50 %	---	---
Longitud de rebase restringido	En función al TDPA	---	---
Nivel de servicio	E	C	D
Tránsito diario promedio anual	14,770	17,113	14,631
Velocidades de operación	A	B	C
Dos carriles	Km/h	Km/h	Km/h
- En campo	80	72	65
- En gabinete	63	62	40
Carriles múltiples	Km/h	Km/h	Km/h
- En Campo	90	80	70
- En gabinete	80.6	75.0	57.6
Composición vehicular (%)	74	7	19

Cuadro 6.7
Principales características geométricas y operativas de la alternativa con peaje

Principales características geométricas de la carretera con peaje.			
Tipo de carretera	Autopista		
Distancia	104.70 Km.		
Tipo de terreno	Plano		
Número de carriles	Dos por sentido		
Ancho de carril	3.5 m		
Ancho de acotamiento	1.2 m		
Obstáculos a ambos lados	No		
Familiarización del conductor con el camino (FCC)	Alta		
Velocidad de proyecto	110 Km/h		
Nivel de servicio	B		
Tránsito diario promedio anual	13,210		
Velocidades de operación	A	B	C
- En campo	100 Km/h	90 Km/h	85 Km/h
- En gabinete	94.19 Km/h	88.96 Km/h	69.25 Km/h
Composición vehicular (%)	69	10	21

Una vez determinadas las características geométricas de ambas alternativas se procedió a realizar el cálculo de las variables operativas a partir del manual capacidad vial, tales como el nivel de servicio y la velocidad asociada a éste, tal y como se realizó en el apartado 6.2. Asimismo, se presentan los resultados asociados a velocidades observadas en campo, toda vez que se realizaron algunas mediciones de éstas mediante el método de vehículo flotante. Los resultados se consignan en el cuadro 6.8.

Cuadro 6.8
Estimación del factor de utilización de las distintas alternativas
carreteras que se presentan en el arco Querétaro-Irapuato

Asignación de tránsito por el método de la AASHTO en las carreteras de Querétaro – Irapuato (Con tiempos de recorrido calculados a partir del manual de capacidad vial)										
Carretera	KM	Velocidad de operación			Tiempos de recorrido			Factor de utilización (FU)		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Libre (promedio)	113.70	71.41	69.25	48.90	1.59	1.64	2.32	0.896	0.878	0.926
Cuota	104.70	94.19	88.96	69.07	1.11	1.18	1.52			
Asignación de tránsito por el método de la AASHTO en las carreteras de Querétaro – Irapuato (Con tiempos de recorrido observados en campo y por tramos de las carreteras)										
Libre	KM	Velocidad de operación			Tiempos de recorrido			Factor de utilización (FU)		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Tramo										
Querétaro - Celaya	49.90	80	72	65	0.624	0.693	0.768	0.889	0.889	0.913
Celaya - Salamanca	43.90	80	72	65	0.549	0.610	0.675	0.908	0.908	0.929
Salamanca - Irapuato	19.90	90	80	70	0.221	0.249	0.284	0.504	0.530	0.563
	113.70				1.394	1.552	1.687	0.856	0.858	0.867
Cuota	KM	Velocidad de operación			Tiempos de recorrido					
		A	B	C	A	B	C			
Tramo										
Querétaro - Celaya	44.10	100	90	85	0.441	0.490	0.519			
Celaya - Salamanca	37.44	100	90	85	0.374	0.416	0.441			
Salamanca - Irapuato	23.16	105	95	85	0.221	0.244	0.273			
	104.70				1.036	1.150	1.233			

Debido a que no se contó con información relativa a estudios Origen-Destino sobre ninguno de los tramos de la carretera en análisis, el método que se describió para determinar el Factor de Cuota (FC) en el apartado 2.3.2, mismo que se utiliza para obtener el tránsito potencial por asignar, en la forma en que se hizo en el apartado 6.4, el cual es estimado por tipo de vehículo para poder aplicar el Factor de Utilización que se muestra en el cuadro 6.8.

La asignación del tránsito al considerar los tiempos de recorrido observados en campo se encuentra por debajo de aquella calculada a partir del manual de capacidad vial, estimándose una variación entre 3 y 7 %, dependiendo del tipo de vehículo.

6.5 Aplicación del método del costo generalizado del transporte para estimar la asignación del tránsito en la red carretera Querétaro-Irapuato

En el cuadro 6.9 se muestran los resultados obtenidos de la asignación de tránsito en la pequeña red conformada por las rutas libre y de cuota Querétaro-Irapuato.

El costo generalizado del transporte en cada una de las rutas, se obtiene a partir de la metodología descrita anteriormente en el capítulo cuatro, tal y como se aplicó dicho método en el arco Irapuato-León (situación hipotética), descrito en el apartado 6.3.3.

Es conveniente señalar que en el cuadro 6.9 se presentan los resultados de asignación de tránsito, después de analizar la elasticidad de la demanda ante una probable disminución de cuota para las distintas composiciones vehiculares.

Como puede apreciarse, al aplicar una reducción de cuota del 35%, la asignación del tránsito de la carretera libre a la de cuota llega a ser del 51%. En este sentido, es conveniente señalar que debe cuidarse que no se tengan pérdidas en los ingresos totales que tienen las empresas concesionarias y que además no se lleguen a presentar ahorros negativos en el costo generalizado del transporte por tipo de vehículo.

Finalmente se presenta en el cuadro 6.10 un resumen sobre el costo generalizado del transporte por los tres itinerarios diferentes que integran la red regional Querétaro- Zacatecas.

Para el análisis de los tres itinerarios se consideró únicamente la proporción de tránsito de largo itinerario que esta obligado a recorrer el arco Querétaro-Zacatecas.

Como puede observarse en el cuadro 6.10, la ruta más conveniente desde una óptica global (costo generalizado del transporte) es la que considera el paso por San Luis Potosí, sin embargo si para el usuario es más importante el tiempo de recorrido y el costo de los ocupantes de los vehículos de pasaje, la ruta más adecuada es la que pasa por Celaya, León y Aguascalientes considerando los distintos tramos con peaje (carretera de cuota).

Cuadro 6.9
Asignación de tránsito en la red conformada por las alternativas libre y de cuota Querétaro-Irapuato (1999)

Porcentaje de la ----- Redistribución Decremento		Diferencial de costos de un vehículo (Cuota vs Libre)			Costos de operación de los tres tipos de vehículo por carretera		Ingresos diarios por peaje	TDPA		Vehículos asignados a Cuota	Nivel de Servicio		Ahorros en tiempo (C vs L)		
		A	B	C	Cuota	Libre		Cuota	Libre		Cuota	Libre	A	B	C
0	0	89.76	244.73	229.11	2,835.15	3,398.74	1,518,698	13,210	14,631	0	B	E	0.76	0.66	1.39
35	0	16.67	122.93	3.78	2,855.73	2,999.12	2,150,935	18,710	9,132	5,499	B	D	0.42	0.37	0.82
38	5	14.65	116.05	1.55	2,834.79	2,967.04	2,094,870	19,181	8,660	5,971	B	D	0.39	0.35	0.78
40	10	14.20	113.68	4.97	2,812.87	2,945.72	2,017,129	19,495	8,346	6,285	B	D	0.38	0.33	0.76
42	15	13.70	111.45	8.63	2,790.96	2,924.74	1,935,775	19,810	8,032	6,599	B	D	0.36	0.32	0.74
44	20	13.12	105.42	5.51	2,779.41	2,903.47	1,850,808	20,124	7,718	6,914	C	D	0.35	0.30	0.59
47	25	10.73	98.07	2.53	2,759.70	2,871.02	1,775,776	20,595	7,246	7,385	C	C	0.32	0.27	0.55
50	30	8.28	90.41	0.36	2,740.16	2,839.22	1,695,325	21,067	6,775	7,856	C	C	0.30	0.25	0.52
51	35	9.66	91.40	10.75	2,717.94	2,829.75	1,585,972	21,224	6,618	8,014	C	C	0.29	0.24	0.51
51	40	12.53	96.92	26.19	2,694.12	2,829.75	1,463,974	21,224	6,618	8,014	C	C	0.29	0.24	0.51
51	45	15.40	102.44	41.62	2,670.29	2,829.75	1,341,976	21,224	6,618	8,014	C	C	0.29	0.24	0.51
51	50	18.27	107.97	57.06	2,646.46	2,829.75	1,219,979	21,224	6,618	8,014	C	C	0.29	0.24	0.51
52	55	19.48	150.38	4.71	2,624.24	2,798.80	1,106,109	21,381	6,461	8,171	C	C	0.29	0.31	0.40
55	60	17.67	142.88	0.20	2,605.20	2,765.96	1,004,885	21,852	5,989	8,642	C	C	0.26	0.29	0.37

Método de asignación de tránsito en redes regionales de carreteras: Dos alternativas de solución

Cuadro 6.10
Costo generalizado del transporte en los distintos itinerarios que integran la red Querétaro-Zacatecas (1999)

Querétaro - Zacatecas vía el eje troncal Querétaro -Ciudad Juárez (Cuota)

	Km.	Tiempo de recorrido (h)			Costo de Operación Vehicular (\$ de 1999)			Costo del tiempo de los conductores			Costo del tiempo de los pasajeros		Costo Generalizado de transporte		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	A	B	C
Suma de Subtramos	390.59	4.4	4.7	6.3	936	3,116	4,370	77.98	203.66	315.79	33.02	557.21	1,046.93	3,876.54	4,685.30

Querétaro - Zacatecas vía el eje troncal Querétaro -Ciudad Juárez (Libre)

	Km.	Tiempo de recorrido			Costo de Operación Vehicular			Costo del tiempo de los conductores			Costo del tiempo de los pasajeros		Costo Generalizado de transporte		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	A	B	C
Suma de Subtramos	412.97	5.5	5.6	8.2	943	3,267	4,540	97.95	245.40	415.98	41.33	670.21	1,081.16	4,182.15	4,955.53

Querétaro - Zacatecas vía San Luis Potosí

	Km.	Tiempo de recorrido			Costo de Operación Vehicular			Costo del tiempo de los conductores			Costo del tiempo de los pasajeros		Costo Generalizado de transporte		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	A	B	C
Suma de Subtramos	367.23	4.9	5.2	7.1	809	2,985	3,695	82.64	246.58	336.79	47.67	566.35	938.99	3,798.07	4,031.53

Conclusiones

En este documento, se ponen de manifiesto las bondades e inconvenientes de aplicar dos métodos de asignación de tránsito, los cuales a pesar de contar con dos tipos de variables diferentes son complementarios, ya que parte de la información de campo requerida para el cálculo de velocidades y tiempos de recorrido en el método de la AASHTO, pueden ser empleados en el método de costo generalizado del transporte.

Por una parte el método de la AASHTO considera en la estimación del tránsito potencial las variables distancia (d) y tiempo (t), sin considerar el estado superficial del camino, condición que si toma en cuenta el método del costo generalizado del transporte, además de considerar de manera implícita las variables distancia y tiempo de recorrido, necesarias para determinar las velocidades de operación y costo del tiempo de los pasajeros.

Es conveniente señalar que el método del costo generalizado del transporte, constituye una buena opción en la estimación de la demanda de tránsito que pudiese tener una ruta o tramo carretero determinado.

El método del costo generalizado del transporte, constituye uno de los métodos más completos en los estudios de asignación de tránsito, puesto que metodológicamente considera la realización de encuestas de preferencias variables, las cuales proporcionan un indicador de la probabilidad de selección de ruta de los usuarios, los cuales pueden ser conductores de automóviles, empresas transportistas y hombres-camión. Sin embargo, es conveniente insistir sobre la realización de estudios de campo ex-post o de preferencias observadas, con objeto de corroborar la bondad de las preferencias declaradas.

Es conveniente señalar que la concepción metodológica para la aplicación y comparación de métodos constituye una base sólida para la realización de estudios de preinversión, de gran utilidad para las distintas entidades operativas encargadas de la gestión de la infraestructura carretera.

En el caso del método del costo generalizado del transporte, permite conocer las condiciones de operación de una red regional de carreteras de manera anualizada para diferentes horizontes económicos. Asimismo, la sistematización del método permite encontrar aplicaciones a otro tipo de metodologías tales como la evaluación económica y financiera de infraestructura carretera. Las estimaciones que se presentan en este documento en cuanto al costo generalizado del transporte por tipo de vehículo con distintos escenarios de cuota (cuando existen tramos con pago de peaje) permiten realizar análisis de sensibilidad con respecto diversas variables, tales como el monto de inversión en una modernización o ampliación de sección en distintos tramos de la red que se esté analizando, la tasa de crecimiento vehicular, la composición vehicular y el tipo de terreno, por citar algunos.

Este tipo de herramientas metodológicas permiten a los responsables de la toma de decisiones realizar estudios de preinversión, cuyos resultados orientan la integración de una cartera de proyectos susceptibles de ser evaluados, tanto económica como financieramente, es decir, permite integrar adecuadamente un programa de estudios de campo con objeto de optimizar los recursos necesarios para su realización. Además, los resultados que se obtienen de los estudios de campo permiten reorientar la asignación de tránsito, misma que incide en la determinación de las políticas de mantenimiento en los distintos tramos que integran la red en estudio, aunado a ello estas herramientas metodológicas constituyen la base para llevar a cabo ulteriores análisis de gran visión que tienen impacto en aspectos macroeconómicos, tales como un mayor dinamismo en la reinversión del capital, reducción de la inflación y consecuentemente una mayor captación de recursos, mismos que pueden ser canalizados a la realización de obras con carácter social.

ANEXOS

ANEXO 1: Costos de operación base, relación velocidad de operación vs. índice internacional de rugosidad (IIR) y factor de corrección del costo de operación base

**Costos de Operación Base (Diciembre de 1999)
Vehículo ligero (A)**

Panel (combi) Volkswagen con motor de 86 HP. Llantas Goodyear Convencionales

Consumos por cada 1000 vehículo-Km

Consumo de combustible	litros	111.763
Uso de lubricantes	litros	1.852
Consumo de llantas	nº llantas nuevas equiv.	0.060
Tiempo de operador	horas	11.349
Mano de obra de mantenimiento	horas	2.153
Refacciones	% precio del vehículo	0.144
Depreciación	% precio del vehículo	0.399
<i>Intereses (Tasa real 11%)</i>	% precio del vehículo	0.175

Costos Unitarios (Pesos, precios dic. 1999)

Precio de vehículo	\$	141 474
<i>Costo de combustibles</i>	\$/litro	4.170
<i>Costo de lubricantes</i>	\$/litro	24.680
Costo de llanta nueva	\$/llanta	357.000
Tiempo del operador	\$/hora	17.710
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	16.670
Tasa de interés anual	%	10.000
Costos indirectos por vehículo-km.	\$	0.180

Costo de Operación

(Pesos por vehículo-km)

	\$	1.97
Consumo de combustible	\$	0.47
Uso de lubricantes	\$	0.05
Consumo de llantas	\$	0.02
Tiempo de operador	\$	0.20
Mano de obra de mantenimiento	\$	0.04
Refacciones	\$	0.20
Depreciación	\$	0.56
Interés	\$	0.25
Costos Indirectos	\$	0.18

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en la Publicación Técnica No. 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", IMT, 1991

Costos de Operación Base (Diciembre de 1999)
Autobús (B)

**Autobús integral foráneo con motor Cummins ISM 370 de 370 HP s/aire acond.
Llantas 1100-22.00 normales**

Consumos por cada 1000 vehículo-Km

Consumo de combustible	litros	366.119
Uso de lubricantes	litros	3.372
Consumo de llantas	nº llantas nuevas equiv.	0.303
Tiempo de operador	horas	11.450
Mano de obra de mantenimiento	horas	11.058
Refacciones	% precio del vehículo	0.134
Depreciación	% precio del vehículo	0.050
Intereses (Tasa real 11%)	% precio del vehículo	0.025

Costos Unitarios (Pesos, precios dic. 1999)

Precio de vehículo	\$	1 493.239
Costo de combustibles	\$/litro	3.450
Costo de lubricantes	\$/litro	22.550
Costo de llanta nueva	\$/llanta	2 446.30
Tiempo del operador	\$/hora	52.080
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	44,0
Tasa de interés anual	%	10,00
Costos indirectos por vehículo-km.	\$	0.430

Costo de Operación

(Pesos por vehículo-km)	\$	6.72
Consumo de combustible	\$	1.26
Uso de lubricantes	\$	0.08
Consumo de llantas	\$	0.74
Tiempo de operador	\$	0.60
Mano de obra de mantenimiento	\$	0.49
Refacciones	\$	2.00
Depreciación	\$	0.75
Interés	\$	0.37
Costos Indirectos	\$	0.43

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en la Publicación Técnica No. 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", IMT, 1991

**Costos de Operación Base (Diciembre de 1999)
Camión Articulado (T3-S2)**

Tractocamión de tres ejes, Internacional 9200i con motor Detroit diesel S-60 430 de 430 HP. Semirremolque de dos ejes tipo caja de aluminio de 40 pies. Llantas 1100 X 22.00 normal.

Consumos por cada 1000 vehículo-Km

Consumo de combustible	litros	480.641
Uso de lubricantes	litros	5.452
Consumo de llantas	nº llantas nuevas equiv.	0.380
Tiempo de operador	horas	11.627
Mano de obra de mantenimiento	horas	30.478
Refacciones	% precio del vehículo	0.273
Depreciación	% precio del vehículo	0.054
Intereses (Tasa real 11%)	% precio del vehículo	0.035

Costos Unitarios (Pesos, precios dic. 1999)

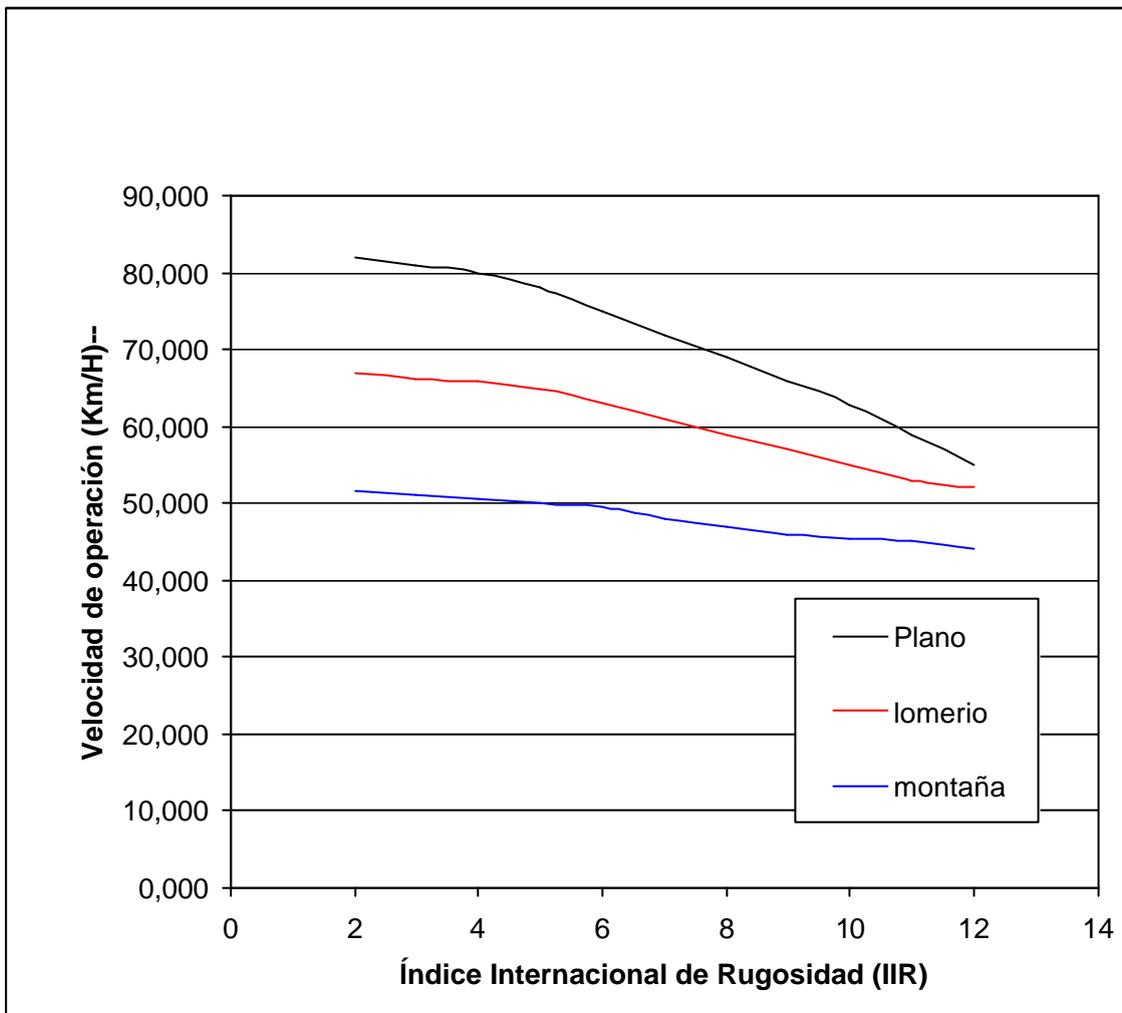
Precio de vehículo	\$	1 058 038
Costo de combustibles	\$/litro	3.450
Costo de lubricantes	\$/litro	22.550
Costo de llanta nueva	\$/llanta	2 18790
Tiempo del operador	\$/hora	41.670
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	29,.70
Tasa de interés anual	%	10.00
Costos indirectos por vehículo-km.	\$	0.640

Costo de Operación

(Pesos por vehículo-km)	\$	8.45
Consumo de combustible	\$	1.66
Uso de lubricantes	\$	0.12
Consumo de llantas	\$	0.83
Tiempo de operador	\$	0.48
Mano de obra de mantenimiento	\$	0.89
Refacciones	\$	2.89
Depreciación	\$	0.57
Interés	\$	0.37
Costos Indirectos	\$	0.64

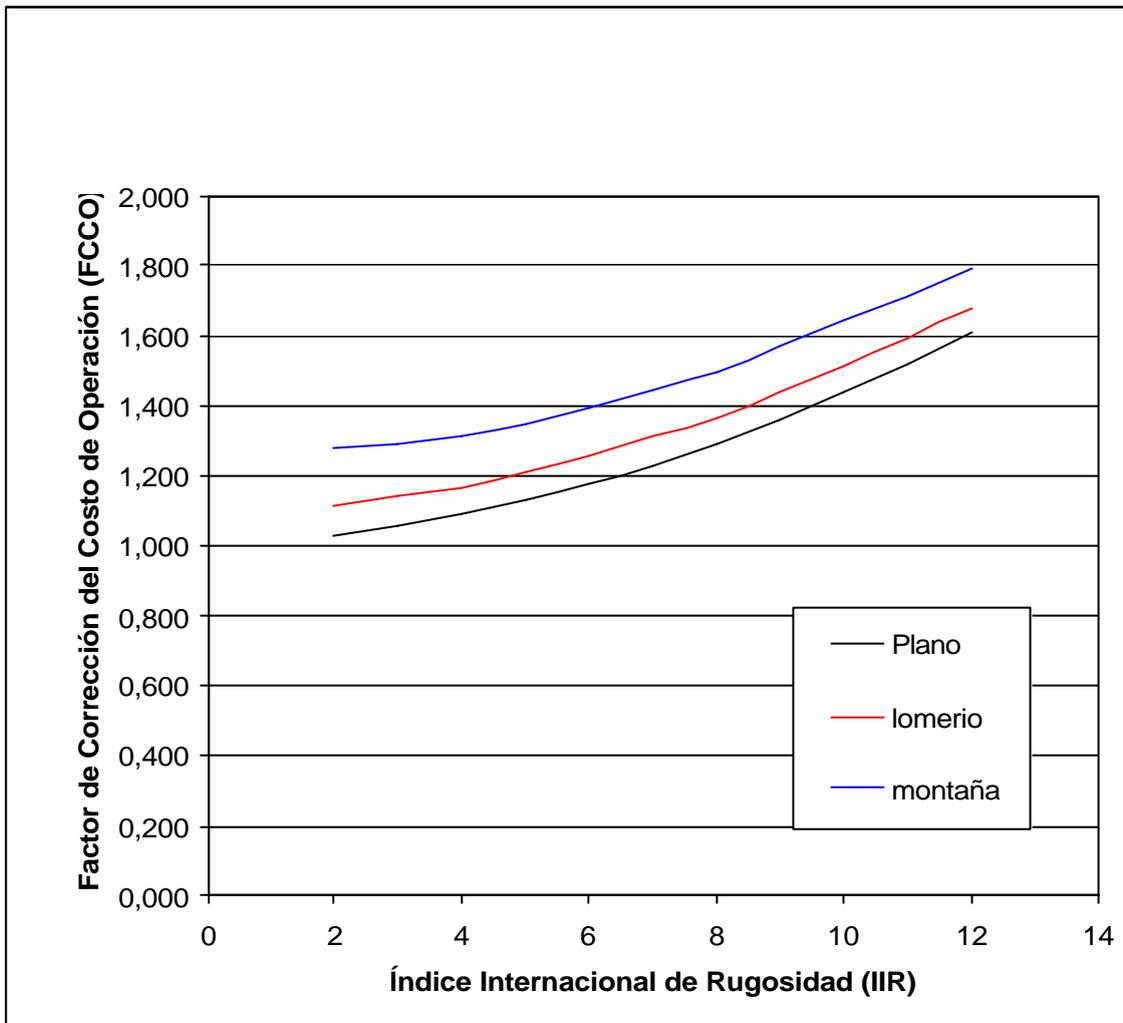
Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en la Publicación Técnica No. 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", IMT, 1991

Relación índice internacional de rugosidad vs. velocidad de operación, por tipo de terreno para el caso de vehículos ligeros (A)



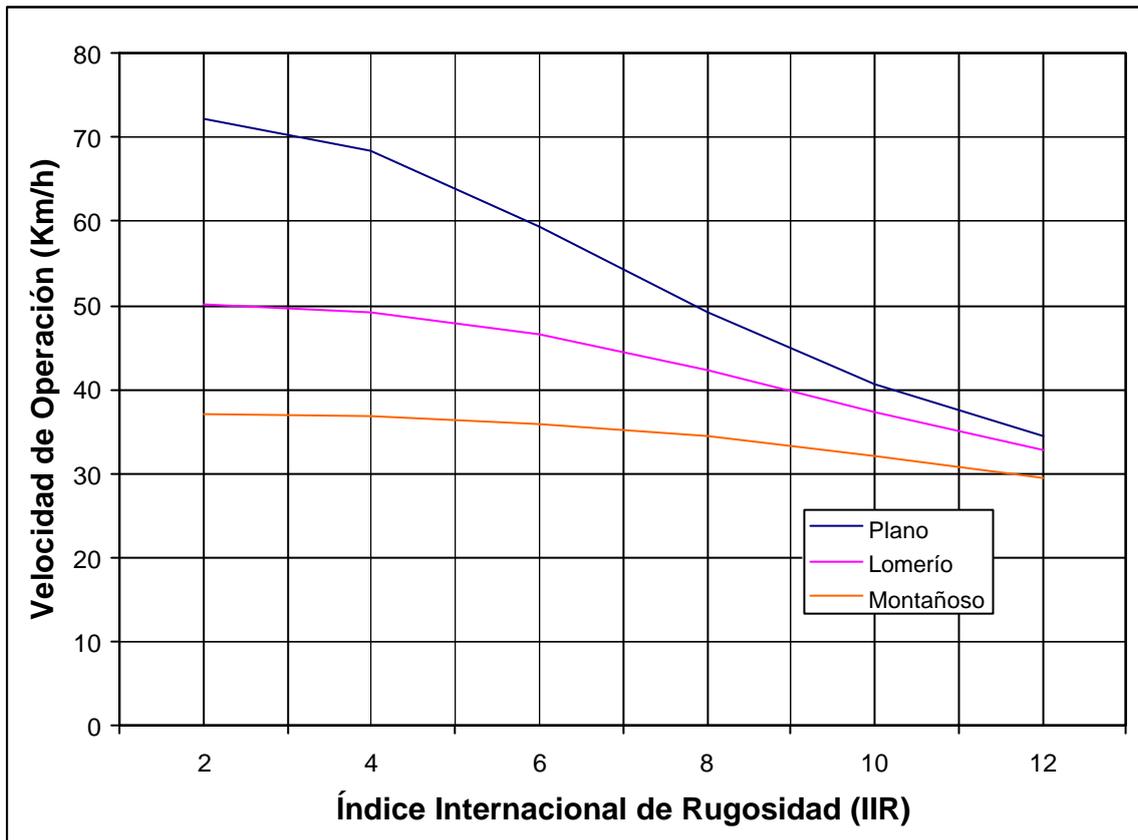
Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en la Publicación Técnica No. 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", IMT, 1991

Factores de corrección del costo de operación para vehículos ligeros (A), respecto al índice de rugosidad internacional y tipo de terreno



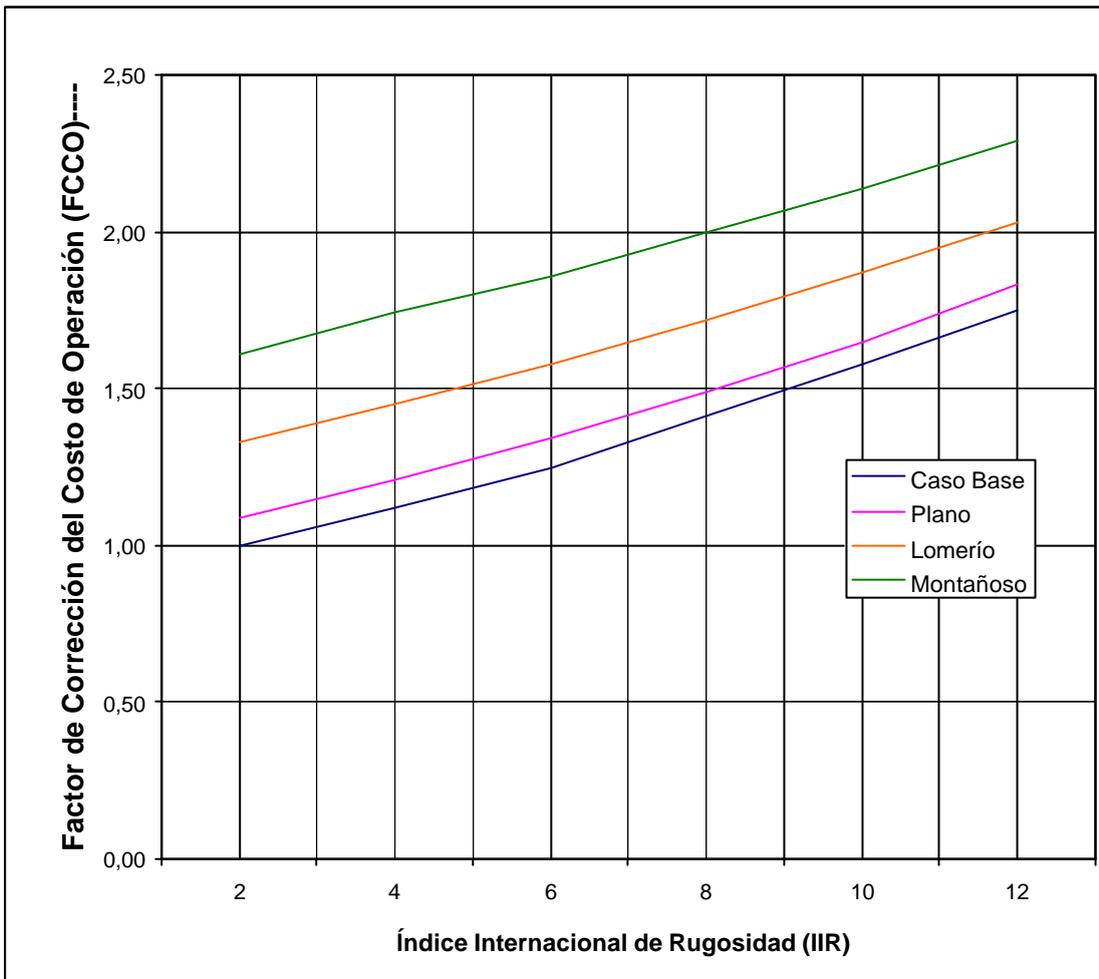
Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en la Publicación Técnica No. 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", IMT, 1991

Relación índice internacional de rugosidad vs. velocidad de operación, por tipo de terreno para el caso camiones tipo T3-S2 (C)



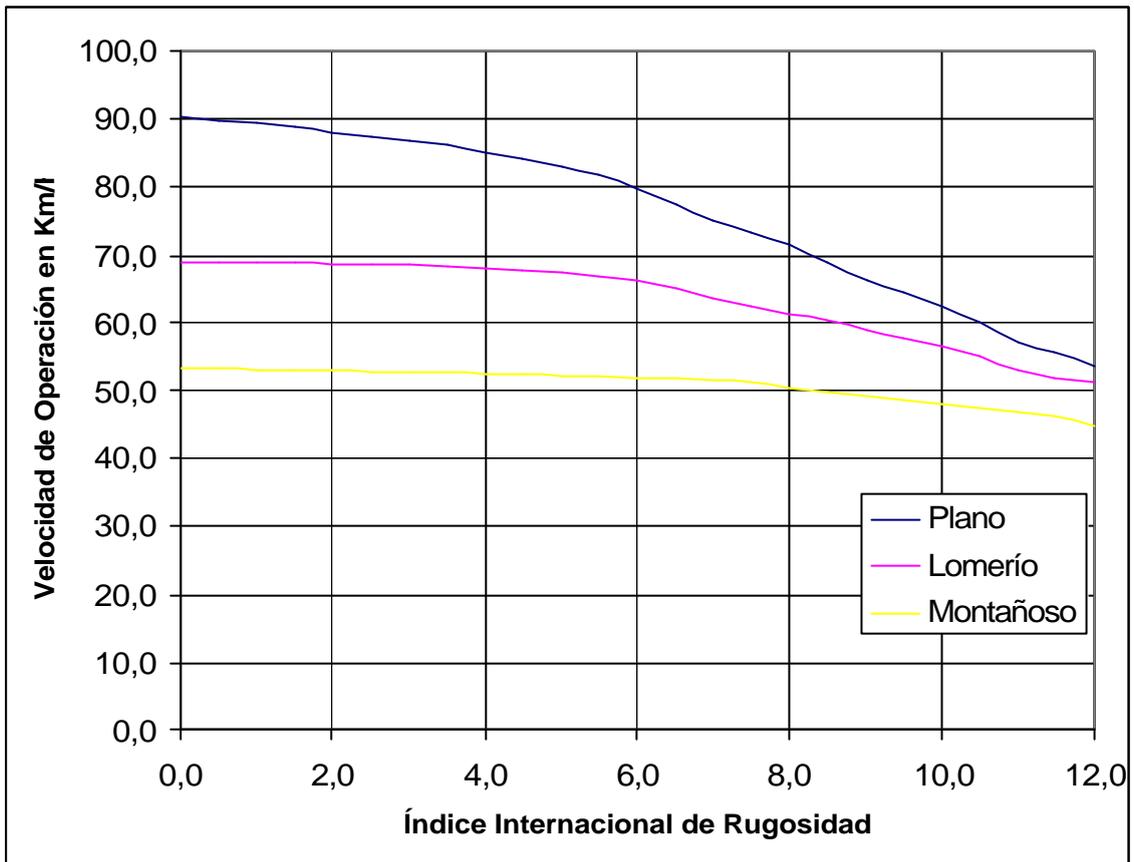
Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en la Publicación Técnica No. 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", IMT, 1991

Factores de corrección del costo de operación para vehículos T3-S2 (C), respecto al índice de rugosidad internacional y tipo de terreno



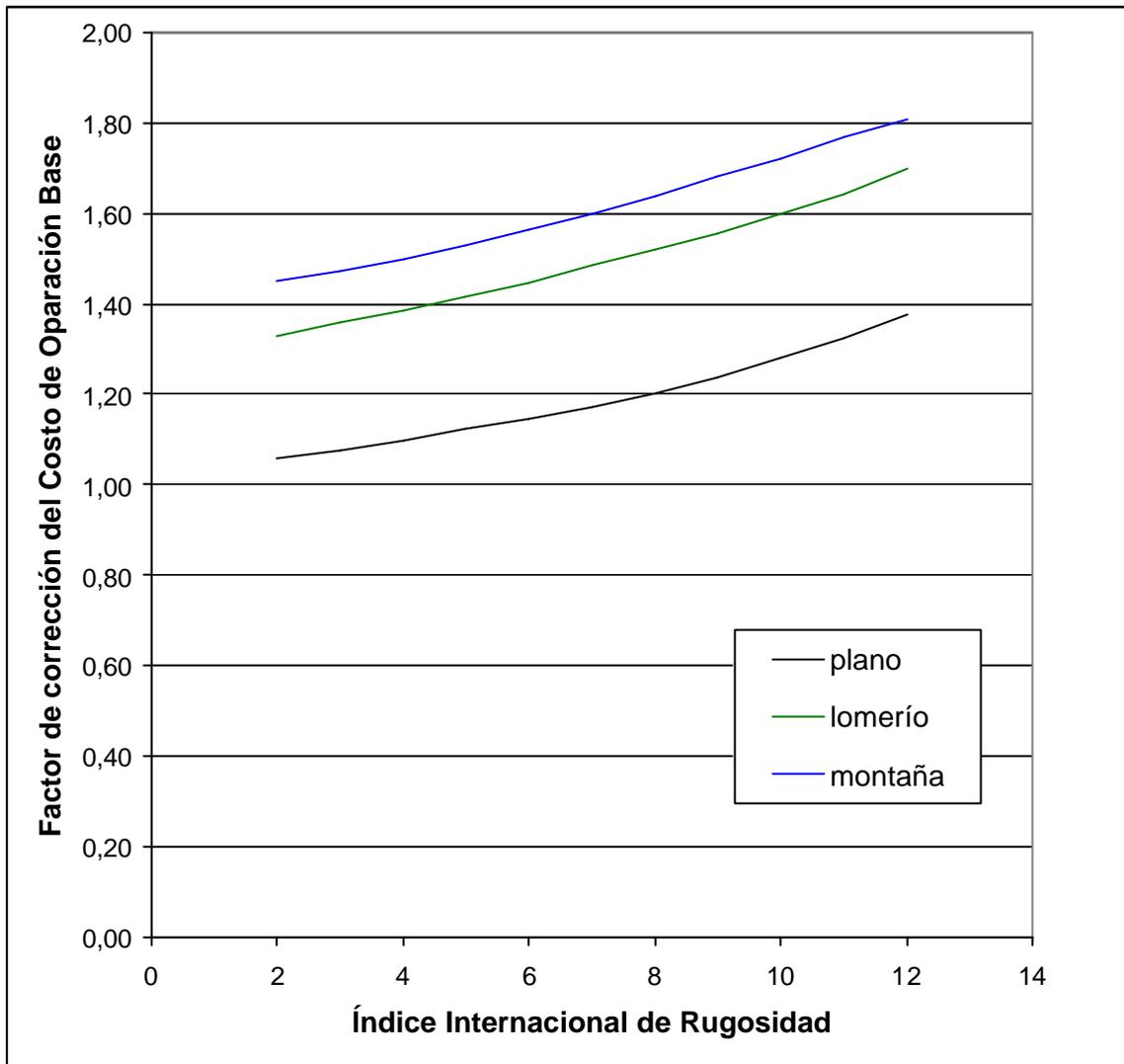
Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en la Publicación Técnica No. 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", IMT, 1991

Relación índice internacional de rugosidad vs. velocidad de operación, por tipo de terreno para el caso de autobuses(B)



Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en la Publicación Técnica No. 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", IMT, 1991

Factores de corrección del costo de operación para autobuses (B), respecto al índice de rugosidad internacional y tipo de terreno



Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en la Publicación Técnica No. 30 "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", IMT, 1991

Bibliografía

1. **Aguerreberre S. R., Cepeda N. F., De Buen R. O. y Rico R. A.-** Publicación Técnica N° 30 *“Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras”*, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 1991.
2. **Arroyo O. J. A., Aguerreberre S. R.-** Publicación Técnica N° 202 *“Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras”*, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 2002.
3. **Heggie Ian G., Vickers Piers.-** *“Supervisión Comercial y Financiamiento Vial”*, Documento Técnico del Banco mundial N° 409S, Banco Mundial, Washington, D.C., USA, 1999.
4. **Islas R. V., Torres V. G., Rivera T. C.-**Publicación Técnica N° 149 *“Productividad en el Transporte Mexicano”* Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro., 2000.
5. **Moreno Q. E.-** Publicación Técnica N° 144 *“Problemas de ruteo vehicular en la recolección y distribución óptimas de carga”*, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 2000.
6. **Redalat Egües, G.-** *“Manual de Ingeniería de Tránsito”*, Talleres Gráficos Mundial, SRL, Buenos Aires, Argentina, 1964.
7. **Schliessler A., Bull A. -** *“Camino, Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales”*, Naciones Unidas, Comisión Económica Para América Latina y El Caribe, Santiago de Chile, 1994.
8. **Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos.-** *“Estudios de Origen, Destino y Peso”*, México, D. F. 1992-1994, 1995 y 1996.
9. **Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos.-** *“Manual de Capacidad Vial”*, México D. F. 1991.
10. **Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos.-** *“Datos Viales 2000”*, México D. F., 2000.
11. **Valdés Antonio.-** *“Ingeniería de Tráfico”*, Ed. DOSSAT, S.A. Madrid, España. 1971.

**CIUDAD DE MEXICO**

Av. Patriotismo 683
Col. Mixcoac
03730, México, D. F.
Tel (55) 56 15 35 75
55 98 52 18
Fax (55) 55 98 64 57

SANFANDILA

Km. 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro.
Tel (442) 2 16 97 77
2 16 96 46
Fax (442) 2 16 96 71

Internet: <http://www.imt.mx>
publicaciones@imt.mx