



Certificado en ISO 9001:2000‡

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



“IMT, 20 años generando conocimientos y tecnologías para el desarrollo del transporte en México”

UNA METODOLOGÍA PARA EL AJUSTE POR CALIDAD EN LAS TARIFAS DE CARRETERAS DE CUOTA

Efraín Alfredo Reynoso León
Alberto Mendoza Díaz
José Luis Gutiérrez Hernández

Publicación Técnica No 303
Sanfandila, Qro 2006

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

**Una metodología para el ajuste por calidad
en las tarifas de carreteras de cuota**

**Publicación Técnica No. 303
Sanfandila, Qro 2006**

Este trabajo se elaboró en la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), por Efraín Alfredo Reynoso León, Alberto Mendoza Díaz, y José Luis Gutiérrez Hernández

Índice

Índice	III
Índice de tablas y figuras.....	V
Resumen	VII
Abstract.....	IX
Resumen ejecutivo.....	XI
1. Introducción y antecedentes.....	1
1.1 Antecedentes	3
1.2 Justificación.....	4
1.3 Fundamento teórico	5
1.4 Objetivos	10
1.5 Hipótesis	10
1.6 Metodología	10
1.7 Alcances	10
1.6 Utilidad del proyecto.....	11
2. Costos de transporte por kilómetro	13
2.1. Niveles de las variables	13
2.1.1. Demoras	13
2.1.2 Accidentalidad.....	16
2.1.3 Regularidad superficial.....	18
2.2. Cálculo de descuentos.....	19
2.2.1 Demoras	19
2.2.2 Accidentalidad.....	20
2.2.3 Regularidad Superficial	21
2.2.4 Tablas de descuentos	21
3. Un ejemplo de aplicación	31
3.1. Antecedentes del tramo	31
3.2. Valores de las Variables	32
3.2.1 Estudios de Velocidad de Recorrido.....	32
3.2.2 Registros Históricos de Accidentalidad.....	35
3.2.3 Registros Históricos de Regularidad Superficial.....	36
3.3 Tarifas Ajustadas	36
4. Conclusiones y recomendaciones	39

Referencias y bibliografía41

Índice de tablas y figuras

Tabla 1.1	Nivel de demoras bajo	7
Tabla 1.2	Nivel de demoras medio	8
Tabla 1.3	Nivel de demoras alto	9
Tabla 2.1	Efecto de los diferentes niveles de demoras en la velocidad	15
Tabla 2.2	Niveles de incremento (Δ) de la accidentalidad	18
Tabla 2.3	Rango en calidad superficial	19
Tabla 2.4	Reducción en pesos en peaje, por km recorrido de carretera de cuota, según sus características para un vehículo tipo A	23
Tabla 2.5	Reducción en pesos en peaje, por km recorrido de carretera de cuota, según sus características para un vehículo tipo B	24
Tabla 2.6	Reducción en pesos en peaje, por km recorrido de carretera de cuota, según sus características para un vehículo tipo C3	25
Tabla 2.7	Reducción en pesos en peaje, por km recorrido de carretera de cuota, según sus características para un vehículo tipo T3S2	26
Tabla 2.8	Reducción en pesos en peaje, por km recorrido de carretera de cuota, según sus características para un vehículo tipo T3S2R4	27
Figura 2.1	Disminución del peaje por efecto de demoras, en terreno plano, incremento en el índice de accidentes = 0 e IRI = 0	28
Figura 2.2	Disminución del peaje por efecto de demoras, en terreno lomerío; incremento en el índice de accidentes=1 e IRI=2	28
Figura 2.3	Disminución del peaje por efecto de demoras, en terreno lomerío; incremento en el índice de accidentes=1 e IRI=6	29
Figura 2.4	Disminución del peaje por efecto de demoras, en terreno montañoso; incremento en el índice de accidentes=2 e IRI=4	29
Tabla 3.1	TDPA y composición vehicular en ambos sentidos, en tres sitios de la autopista México-Querétaro	31
Tabla 3.2	Segmentos que presentan cierre de carriles o cambio de cuerpo, debido a obras en los cuerpos A y B (tramo Tepotzotlán-Palmillas)	33
Tabla 3.3	Interpolación para la configuración T3S2R4, en el cuerpo A (tramo Tepotzotlán-Palmillas)	37
Tabla 3.4	Interpolación para la configuración B, en el cuerpo B (tramo Palmillas- Tepotzotlán)	37

Resumen

La cuota o peaje que se cobra al conductor de un vehículo tiene por objeto cubrir los costos proporcionales que genera su circulación; costos administrativos o de operación; costo de conservación; y costos de construcción de la infraestructura. La cuota obtenida es la mínima posible, antes de incurrir en pérdidas económicas y que conduzca a la mayor captación de usuarios. El pago de la cuota debe corresponder con ciertos factores de calidad, por ejemplo, servicios (por ejemplo; estaciones de servicio, grúas y teléfonos de emergencia), comodidad (estado superficial del pavimento, tiempo de viaje), y seguridad (proyecto geométrico y señalamiento). Estos factores se reflejan directamente en el costo de transporte al incidir en uno o varios de sus componentes; en este trabajo se consideran tres factores de calidad; estado superficial del pavimento; accidentalidad; y demoras. Cada uno se mide de acuerdo con ciertos indicadores. El estado superficial es mediante el índice internacional de rugosidad, su unidad de medida es la suma de irregularidades verticales por kilómetro (m/km). Los costos por accidentes se miden por índices de accidentalidad, su unidad son el número de accidentes, muertos o heridos por cada cien millones de vehículos-kilómetro recorridos. Los costos por demoras se hacen con respecto al tiempo de recorrido sin congestiónamiento y sus unidades son unidades de tiempo (segundos, minutos u horas).

A las condiciones iniciales óptimas de los factores de calidad (*IRI* por debajo de 3 m/km, seguridad vial adecuada, y ausencia de congestiónamientos), le corresponden ciertos valores de costo de operación vehicular (*COV*), costo de accidentes (*CA*) y costo por demoras (*CD*). A esta condición inicial le corresponde un determinado peaje inicial (*P*). El costo total *CT* para el usuario es la suma de costos:

$$CT = COV + CA + CD + P$$

En un sentido de justicia o equidad hacia el usuario, se considera que si la condición inicial cambia reduciendo los niveles de calidad, e incrementando sus costos respecto a los valores iniciales, se le debe otorgar un descuento en el peaje igual a la suma de dichos sobrecostos e igualar el mismo costo total *CT* en la nueva condición.

El objetivo de este trabajo es generar una metodología para cuantificar el monto de los descuentos descritos. Se toma como estudio de caso la autopista México-Querétaro.

Se cuantificará el ajuste requerido para la combinación de los tres parámetros de calidad considerados; cada uno de ellos, a tres niveles (bajo, medio y alto), generándose 27 combinaciones posibles. Para el caso de la calidad superficial del tramo, el IRI inicial propuesto para los tres niveles son: para el nivel bajo, mayor de 6m/km; para el medio, entre 3 y 6m/km; y para el alto, menor de 3m/km. Para los tres parámetros de calidad, se determinarán los tres rangos definitivos más convenientes.

La información base para estimar los valores de ajuste para los peajes serán los costos de transporte por kilómetro, generados. El costo de transporte estará constituido por el costo de operación vehicular; el costo por demoras; y el costo por accidentes. El ajuste a los peajes se efectuará con base en dicha información y se aplica el principio de que el ajuste en el peaje absorba las variaciones del costo de operación vehicular; del costo

de accidentes; y del costo por demoras, en relación con la condición ideal de referencia.

Al establecer un esquema de tarifas justas y equitativas para los usuarios, se intenta motivar la toma de decisiones en mantenimiento y conservación, por ejemplo, para ofrecer un servicio de calidad.

Las principales herramientas empleadas son; paquete de cómputo “Vehicle Operating Cost” (VOC, por sus siglas en inglés), para calcular los componentes de costo de operación vehicular y costo por demoras, así como la influencia del estado superficial de la carretera. Los trabajos realizados en el Instituto Mexicano del Transporte, para estimar el costo de la accidentalidad.

El alcance específico de este trabajo se acota a proponer factores de ajuste por calidad en las cuotas de peaje en carreteras de cuota según los distintos tipos de vehículos, así como el desarrollo de un ejemplo en un caso real. De esta manera, se proporciona a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes una metodología de ajuste a las cuotas cobradas en las carreteras de peaje, en función de su estado superficial, demoras e índices de accidentes. La aplicación de los resultados del trabajo resultará en esquemas tarifarios más justos y equitativos para los usuarios.

Al aplicar la metodología al caso de la autopista México-Querétaro resulta una reducción del peaje de 41.3% para tractocamiones T3S2R4, y de 10.8 para autobuses B2. Lo anterior derivado de las obras en la autopista.

Con este trabajo se proporciona a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes una propuesta metodológica de ajuste a las cuotas cobradas en las carreteras de peaje, en función de su estado superficial, demoras, e índices de accidentes. La aplicación de los resultados del trabajo resultará en esquemas tarifarios más justos y equitativos a los usuarios.

Abstract

The transit fare charged to a vehicle's driver has the purpose of covering the proportional costs that its circulation generates: administrative costs or operation costs, conservation cost, and facilities building costs. The result of this transit fare is the minimum possible before getting economical losses and pursues the most users' captation. The fare payment must correspond to certain quality factors, in example: services (i.e. service stations, towtrucks and emergency telephone), comfort (road surface condition and traveling time), and safety (geometric project and signaling). These factors reflect directly on one or several transport cost elements, in this document it's considered three quality factors: road surface pavement condition; traffic crashes, and delays. Every factor is measured according to certain indicatives. The road surface pavement condition is measured by the IRI (Internacional Roughness Index); its measurement unit is the sum of down irregularities by kilometer (m/km). The accidental costs are measured by the traffic crash index; its unit is the sum of crashes, injured people or deaths in every hundred million vehicles by kilometer run. The delay costs are measured according to the run time without traffic congestion and their unit is time units: seconds, minutes or hours.

To the former optimum conditions of quality factors (IRI below 3 m/km, proper road safety and absence of traffic congestions) correspond certain Vehicle Operation Costs (COV), Crash Costs (CC) and Delay Costs (DC). To the initial condition corresponds a specific former fare (F). The Total Cost for users is the sum of these costs:

$$TC = VOC + CC + DC + F$$

In an equity sense or justice to the users it's considered that if the former condition changes reducing the quality levels and increasing its costs related to their former values, it must be given a discount on the fare same as the sum of these overcosts and get the same TC in this new condition.

The objective of this work is to generate a methodology to quantify the amount of these discounts. It's based on a case study of the Mexico City-Queretaro highway.

The basic information to estimate the adjusting values to the fares will be the transport costs by kilometer. The cost of transport will be constituted by the Vehicle Operation Cost, the Delay Cost and the Traffic Crash cost. The adjust of fares will be done on the basis of this information and the idea is that this adjust on fare will absorb the variations on VOC, DC and CC in relation to the ideal reference condition.

The consequence of applying this methodology to the Mexico City-Queretaro highway case is a fare reduction of 41.3 per cent for trucks (T3S2R4) and 10.8 per cent for buses (B2). As a result of highway maintenance.

This work gives to the Transport and Communication Bureau a methodology proposal to adjust the charged fares on fare highways based on their surface condition, delays and car crash index. The implementation and results of this work will afford fair and equitable fare schemes to users.

Resumen ejecutivo

La cuota o peaje que se cobra al conductor de un vehículo tiene por objeto cubrir los costos proporcionales que genera su circulación; costos administrativos o de operación; costo de conservación; y costos de construcción de la infraestructura. La cuota obtenida debe ser, por un lado, la mínima posible antes de incurrir en pérdidas económicas, y por otro que conduzca a la mayor captación de usuarios. El pago de la cuota debe corresponder con ciertos factores de calidad; servicios (por ejemplo; estaciones de servicio, grúas y teléfonos de emergencia); comodidad (estado superficial del pavimento, tiempo de viaje), seguridad (proyecto geométrico y señalamiento); y aspectos de medio ambiente. Estos factores se reflejan directamente en el costo total de transporte al incidir en uno o varios de sus componentes. En este trabajo se analizan tres factores de calidad de una carretera; estado superficial del pavimento; accidentalidad; y demoras. Cada uno se mide de acuerdo con ciertos indicadores.

La regularidad superficial de un tramo carretero se mide a través del Índice de Rugosidad Internacional (IRI). El IRI es una medida de la rugosidad, entendida como las deformaciones verticales de la superficie de un camino con respecto a la superficie plana; mismas que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de viaje, las cargas dinámicas y el drenaje superficial del camino. La rugosidad es, por tanto, una característica del perfil longitudinal de la superficie recorrida y el índice Internacional de Rugosidad puede definirse como la suma de las irregularidades verticales (en valor absoluto) a lo largo de la zona de rodadura de un tramo homogéneo de carretera, entre la longitud del mismo; su unidad de medida es m/km.

Un accidente vial resulta de la interacción de una serie de causas relacionadas con los usuarios del camino, los vehículos, la infraestructura, el tránsito vial, y a una serie de circunstancias externas; por tanto, no puede ser imputado a un solo factor. No obstante lo anterior, un elevado porcentaje de los accidentes tienen como factor predominante el error humano. Sin embargo, las acciones de mejoramiento en la infraestructura y en las características de los vehículos pueden contribuir a reducir las situaciones de conflicto; y en consecuencia, disminuir la frecuencia y la severidad de los accidentes. Los costos por accidentes se miden por índices de siniestralidad; su unidad es el número de accidentes, muertos o heridos por cada cien millones de vehículos-kilómetro recorridos.

Las demoras se definen como el retraso en el recorrido a través de un tramo, debido a alguna circunstancia (por ejemplo, la realización de alguna obra), en relación con el tiempo de recorrido, bajo condiciones normales de operación. Los costos por demoras se miden respecto al tiempo de recorrido sin congestionamiento; y sus unidades, son unidades de tiempo (segundos, minutos u horas).

A las condiciones iniciales óptimas de los factores de calidad (*IRI* por debajo de 3 m/km, seguridad vial adecuada, y ausencia de congestionamientos), le corresponden ciertos valores de costo de operación vehicular (*COV*); costo de accidentes (*CA*); y costo por demoras (*CD*). A esta condición inicial le corresponde un determinado peaje inicial (*P*). El costo total *CT* para el usuario es la suma de costos:

$$CT = COV + CA + CD + P$$

En un sentido de justicia o equidad hacia el usuario, se considera que si la condición inicial cambia reduciendo los niveles de calidad e incrementando sus costos respecto a los valores iniciales, se le debe otorgar un descuento en el peaje igual a la suma de dichos sobre costos e igualar el mismo costo total CT en la nueva condición.

El objetivo del trabajo es generar una metodología para cuantificar el monto de los descuentos antes descritos. Se toma como estudio de caso la autopista México-Querétaro.

Se cuantificará el ajuste requerido para la combinación de los tres parámetros de calidad considerados; cada uno de ellos a tres niveles (bajo, medio, y alto), generándose 27 combinaciones posibles. Para el caso de la calidad superficial del tramo, el IRI inicial propuesto para los tres niveles son: para el nivel bajo, mayor de 6m/km; para el medio, entre 3 y 6m/km; y para el alto, menor de 3m/km. Para los tres parámetros de calidad se determinarán los tres rangos definitivos más convenientes.

La información base para estimar los valores de ajuste en los peajes serán los costos de transporte por kilómetro generados. El costo de transporte estará constituido por el costo de operación vehicular, el costo por demoras y el costo por accidentes. El ajuste a los peajes se efectúa con base en dicha información, y se aplica el principio de que el ajuste en el peaje absorba las variaciones del costo de operación vehicular; del costo de accidentes; y del costo por demoras, en relación con la condición ideal de referencia.

Al establecer un esquema de tarifas justas y equitativas para los usuarios se intenta motivar la toma de decisiones en mantenimiento y conservación, por ejemplo, un servicio de calidad.

Las principales herramientas empleadas son; paquete de cómputo costos de operación vehicular (VOC, por sus siglas en inglés), para calcular los componentes de costo de operación vehicular y costo por demoras, así como la influencia del estado superficial de la carretera. Los trabajos realizados en el Instituto Mexicano del Transporte para estimar el costo de la accidentalidad.

El alcance específico del trabajo se acota a proponer factores de ajuste por calidad en las cuotas de peaje en carreteras de cuota, para los distintos tipos de vehículos; así como el desarrollo de un ejemplo para un caso real. De esta manera, se proporciona a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes una metodología de ajuste a las cuotas cobradas en las carreteras de peaje, en función de su estado superficial, demoras e índices de accidentalidad. La aplicación de los resultados del trabajo resultará en esquemas tarifarios más justos y equitativos para los usuarios.

El cálculo de los descuentos para los tres conceptos mencionados (demoras, estado superficial, y accidentalidad) fue efectuado tomando en cuenta los vehículos que se consideran más representativos para el cobro de cuotas de peaje; vehículo utilitario (A); autobús foráneo (B); camión de tres ejes (C3); tractocamión articulado (T3S2); y tractocamión doblemente articulado (T3S2R4).

La obtención del costo generado por demoras considera el retraso en el recorrido a través de un tramo, debido a alguna circunstancia en relación con el tiempo de recorrido bajo condiciones normales de operación.

El cálculo del efecto de la accidentalidad, se consideró en primer lugar el nivel de

accidentes equivalentes (tomado del anuario estadístico). Con los datos de flujos vehiculares y distancia se generó un indicador anual. Con los costos por accidente relacionados con los índices obtenidos se dedujo un costo aplicable por cada nivel de accidentalidad (bajo, medio, alto). Al efectuar la integración de un costo relacionado con el descuento propuesto para cada tipo de vehículo, dependiendo del nivel de accidentalidad en el que incida, se estableció el descuento aplicable a la cuota de peaje.

El cálculo de los descuentos relacionados con la regularidad superficial se obtuvo mediante el uso del programa VOCMEX (Vehicle Operating Costs, versión para México), aplicando a niveles de IRI propuestos: nivel bueno, *IRI* igual a 2m/km; nivel medio, *IRI* igual a 4m/km y por último, para un nivel malo, *IRI* igual a 6m/lkm.

Obtenidos los costos de operación para los tres factores propuestos, se integra una tabla conjunta de descuentos, en la cual se indican los montos aplicables a las cuotas de peaje actuales. Se propone que en ningún caso se aplique un descuento mayor al 80% de la tarifa de peaje cobrada; de esta manera cuando se exceda dicho porcentaje se aplicará un descuento equivalente al 80%.

Finalmente, se emplea la metodología propuesta al caso específico de la autopista de cuota México-Querétaro debido a que actualmente se realizan actividades de conservación y reconstrucción en los segmentos entre los cadenamientos de uno y otro cuerpo.

En primer lugar, se realizaron estudios de velocidad de recorrido para la obtención de las demoras, llamada también velocidad global o de viaje. El tiempo total de recorrido incluye todas aquellas demoras operacionales por reducciones de velocidad y paradas provocadas por la vía, el tránsito, y los dispositivos de control ajenos a la voluntad del conductor; no se incluyen demoras fuera de la vía, como las correspondientes a gasolineras, restaurantes, o lugares de recreación.

Con respecto a los accidentes se levantó el índice del número de accidentes equivalentes (*NAE*) por millón de vehículos-kilómetro, recorridos en los dos sentidos del tramo de la caseta de Palmillas a la de Tepetzotlán, igual antes de las obras (2000) y durante ellas (2006). Como resultado se presenta un incremento por efecto de las obras de 0.941 en el sentido 1 (Querétaro-México), y de 0.845 en el sentido 2 (México-Querétaro).

En el caso de la regularidad superficial en 2006 se registró un *IRI* promedio de 3.03 en el tramo en estudio en el sentido 2 y de 2.36 en el sentido 1

El recorrido del tractocamión doblemente articulado T3-S2-R4 en el sentido 2, terreno primordialmente en lomerío, se obtiene un descuento total de -2.718 pesos/km. Este valor anterior representa 41.3% de la tarifa que se cobra actualmente a esa configuración (6.579 pesos/km). El descuento representa una tarifa final de 3.861 pesos/km. Significa que dadas las condiciones actuales habría que cobrar a esa configuración una tarifa total de 413 pesos por el tramo total entre las casetas, en vez de los 704 pesos que se cobran actualmente.

El recorrido correspondiente a un autobús de tres ejes (B3) en el sentido 1, terreno en lomerío, se obtiene un descuento total de -0.257 pesos/km (10.8 % de su tarifa actual

de 2.374 pesos/km). Aplicando el descuento, se obtiene una tarifa final de 2.117 pesos/km. Es decir, una tarifa total de 226.5 en lugar de 254 pesos que se cobran actualmente.

Con el trabajo se proporciona a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes una propuesta metodológica de ajuste a las cuotas cobradas en las carreteras de peaje, en función de su estado superficial, demoras e índices de accidentalidad. La aplicación de los resultados del trabajo resultará en esquemas tarifarios más justos y equitativos para los usuarios.

1 Introducción y antecedentes

Actualmente existe en México una red de carreteras de cuota, de alrededor de 8.000km, de los cuales 74% es de cuatro carriles y el restante 26% corresponde a carreteras de cuota de dos carriles, que se les conocen como caminos directos.

Administrativamente, la longitud total anterior se fragmenta en las siguientes redes:

- ✓ La Red de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE, organismo descentralizado de la administración pública federal). Esta red se integra por autopistas y puentes concesionados por el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), a CAPUFE para su operación, conservación, mantenimiento y explotación
- ✓ La red contratada. Se forma de autopistas y puentes concesionados por el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), o gobiernos estatales, a terceros como: municipales y empresas privadas para su operación, conservación, mantenimiento y explotación; y los servicios de operación y mantenimiento han sido contratados con CAPUFE
- ✓ La Red del Fideicomiso de Apoyo para el Rescate de Autopistas Concesionadas (FARAC), integrada por autopistas y puentes concesionados por el Gobierno Federal a través de la SCT, al Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, Sociedad Nacional de Crédito (BANOBRAS, SNC) para su operación, conservación, mantenimiento y explotación, cuyos derechos fueron afectados al FARAC, y la operación y mantenimiento contratados con CAPUFE
- ✓ Carreteras de cuota concesionadas por el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), cuya operación, conservación, mantenimiento y explotación son ajenas a CAPUFE

Independientemente de las variantes administrativas anteriores, el principio de asignar tarifas a las carreteras de cuota bajo un enfoque social, es básicamente el mismo: a un vehículo de cierto tipo se le cobra un peaje que cubre el costo operativo del tramo carretero generado por su circulación a través de él (por ejemplo, salario de operadores, servicios médicos, vigilancia, sanitarios y seguros), así como el monto de conservación carretera atribuible a dicho vehículo, y su costo proporcional en relación con la construcción de la infraestructura (incluyendo costo financiero, más un rendimiento sobre la inversión, equiparable a la tasa de interés ofrecida en el mercado de capitales). En esencia, la cuota obtenida según el principio anterior, es la mínima posible antes de que se incurra en pérdida económica y que, al mismo tiempo, conduzca a la mayor captación de usuarios, o sea al mayor impacto social de la carretera.

Además, cuando un usuario utiliza una carretera de cuota, el pago respectivo le confiere el derecho de exigir cierto nivel de calidad. En el caso de las vías concesionadas, el Gobierno Federal establece algunos estándares mínimos relacionados con ciertos factores específicos de calidad (por ejemplo, servicios, estado superficial y seguridad). Estos factores se reflejan directamente en el monto de

transporte al incidir en uno o varios de sus componentes (costo de operación vehicular; costo de accidentes; costo por demoras; etc.).

Uno de los factores anteriores se refiere al estado superficial en el que se encuentra la carretera. Éste suele medirse a través del índice internacional de rugosidad (IRI). El IRI se define como la suma de las irregularidades verticales (en valor absoluto) a lo largo de la zona de rodadura de un tramo homogéneo de carretera, entre la longitud del mismo. Para un camino pavimentado, el rango de la escala del IRI es de 0 a 12, y su unidad de medida es m/km. Para las carreteras de cuota, el Gobierno Federal ha establecido el estándar en el que el *IRI* no debe ser mayor a 3m/km en ningún momento. Este factor es el que más influye en el costo de operación vehicular.

Otro factor se refiere a las condiciones operativas relacionadas con la seguridad vial. Ésta suele medirse a través de los índices de siniestralidad de las carreteras, siendo los más comunes el número de accidentes ocurridos, y el número de muertos, o heridos, por cada cien millones de vehículos-kilómetro recorridos. Este factor se relaciona con el costo de los accidentes, o sea otro de los componentes del monto de transporte.

Un factor más se refiere a las demoras en las que incide el usuario durante su recorrido por la carretera, como resultado de alguna perturbación que genera congestión (por ejemplo, la realización de una obra de mantenimiento, ampliación o modernización). Este factor se cuantifica respecto al tiempo de recorrido cuando no existe congestión en la carretera, midiéndose en unidades de tiempo (segundos, minutos u horas).

El transporte de carga y pasajeros es un factor clave en el crecimiento económico del país, mismo que puede verse obstaculizado debido al mal estado que pueden presentar algunos tramos de la Red Carretera Nacional. Actualmente, se puede observar que muchas vías de cuota muestran niveles de calidad poco aceptables.

Lo anterior se debe en buena medida a que la expansión y mejora de la red carretera no se ha visto acompañada por un aumento proporcional de los presupuestos de mantenimiento, aún cuando las cuotas en algunas arterias mexicanas de peaje se ubican entre las más caras del mundo, llegando a ser su estado físico intransitable en ocasiones, cobrándose la misma cuota de peaje aunque el servicio sea de mala calidad.

En este trabajo se asume una condición inicial para las carreteras de cuota en la que los factores de calidad son óptimos; *IRI* por debajo de 3 m/km; seguridad vial adecuada; y ausencia de congestiones. A esta condición inicial le corresponden valores de costo de operación vehicular (*COV*), costo de accidentes (*CA*) y costo por demoras (*CD*). Asimismo, para esta condición se cobra un determinado peaje inicial (*P*). Por tanto, el monto total *CT* del usuario es:

$$CT = COV + CA + CD + P \qquad \text{Ec. 1.1}$$

También se asume que, por equidad hacia el usuario o consumidor, si la condición de la carretera se degrada y esto le genera ciertos incrementos en sus costos en relación con

los valores iniciales, o sobrecostos, él debe obtener un descuento en el peaje, igual a la suma de dichos sobrecostos, obteniendo el mismo costo total CT en la nueva condición.

El problema que se aborda en este trabajo, es cuantificar el monto de los descuentos mencionados, para algunos casos particulares de carreteras de cuota mexicanas. Lo anterior, para diferentes niveles de degradación de las carreteras, reflejados a través de los factores de calidad.

1.1 Antecedentes

Tradicionalmente, el cobro de cuotas de peaje en las carreteras de México, al igual que en otros países, se ha asociado a la necesidad de recabar fondos para cubrir el monto operativo del tramo carretero (por ejemplo, salario de operadores; servicios médicos; vigilancia; sanitarios; y seguros), así como el costo de conservación y el costo constructivo de la carretera (incluyendo costos financieros, más el rendimiento sobre la inversión), suponiendo con esto que siempre se mantendrá en condiciones óptimas.

La política de ajustar los peajes en las carreteras de cuota, en función de la calidad brindada a los usuarios, ya se aplica en varios países. En todos los casos, la implantación de la política anterior ha tenido el objeto de proteger al consumidor, buscando la equidad entre la cuota que paga y la calidad de servicio que recibe.

Por ejemplo, en Italia, hasta el año 1997, el mayor operador de autopistas de cuota había sido la empresa Autostrade, perteneciente al Estado italiano, y que había construido 3.900km de carreteras de cuota y ejecutado todos los programas de mantenimiento en ellas. Sin embargo, para ese año ya se tenía contemplada la privatización de dicha empresa a través de un acuerdo de concesión, hasta 2038; el cual, entre otros aspectos, liga los peajes a cobrar con la calidad de la carretera.

Lo anterior dio inicio a un sistema de cuantificación en las carreteras italianas para medir la calidad de éstas. En el acuerdo de concesión mencionado se establece que la calidad en las autopistas se reflejaría directamente en las cuotas de peaje, incrementándolas o disminuyéndolas según la calidad se altere (a mayor calidad, mayor precio, y viceversa).

El sistema implantado requiere no sólo verificar la calidad, sino también cuantificarla, ya que dentro de la misma está integrada una serie de conceptos que la afectan, como son la seguridad, la comodidad, el tiempo de viaje y el impacto ambiental, entre otros.

En el caso de la conservación, es necesario medir la degradación de la vía al paso del tiempo para determinar los trabajos de mejoramiento requeridos. En general, es más conveniente realizar trabajos preventivos que correctivos en las autopistas; más aún si se realiza una mejora en las características de rodamiento, pues se presenta un aumento considerable en el tiempo en el cual se tendrían que volver a realizar trabajos de conservación.

El planteamiento general propuesto en Italia para estimar la calidad, Q , de una carretera consiste en los siguientes pasos:

1. Tomar consecutivamente cada uno de los parámetros específicos de calidad, los cuales pueden estar relacionados con el señalamiento; las zonas aledañas a la carretera; las estructuras; el pavimento; los accidentes; los servicios; etc
2. Calificar, para el parámetro considerado (parámetro i), los segmentos de la carretera según una escala que va de 1 (calidad muy buena) a 5 (calidad muy pobre)
3. Estimar la distribución de longitudes de la carretera dentro de cada nivel asociado a la escala anterior: un porcentaje A en el nivel 1; B en el nivel 2; C en el nivel 3; etc
4. Obtener el indicador I_i , correspondiente al parámetro i , mediante la función f

$$I_i = f(A, B, C, \dots) \quad (1.2)$$

Donde el indicador I_i varía entre 0 y 100.

5. Obtener Q para la carretera, mediante la fórmula siguiente:

$$Q = \frac{\sum_i I_i p_i}{\sum_i p_i} \quad \text{Ec. 1.3}$$

Donde p_i representa un conjunto de factores de ponderación, asociados con los parámetros de calidad.

Para el caso específico del acuerdo de concesión hasta 2038, los parámetros de calidad considerados son: el estado superficial del pavimento; su resistencia al derrapamiento; y el número de accidentes (en terreno plano, montañoso, etc).

Se tiene conocimiento de que enfoques similares están siendo aplicados en otras partes del mundo (China, Japón, etc).

1.2 Justificación

Actualmente, México se encuentra en un contexto de desarrollo económico y social, en donde una de las premisas básicas de las políticas públicas, es la búsqueda de beneficios directos a la población, especialmente en aquellos bienes y servicios que faciliten la realización de sus propias actividades productivas, o promuevan actividades de turismo interno en favor de zonas turísticas del país.

Aunque la red carretera es fundamental para el intercambio carretero, en muchas ocasiones en vez de promover el desarrollo regional y minimizar los costos de transportación, éstos se incrementan debido al mal estado en que se encuentran algunos tramos de la red carretera del país; mayor tiempo de traslado; mayor consumo de combustibles; mayor desgaste de los vehículos, y gasto en refacciones y reparaciones; y de forma preocupante, mayor inseguridad para las personas que las utilizan, por el incremento en la probabilidad de ocurrencia de percances.

Los senadores de la República han manifestado su preocupación en el sentido de que es injusto que se cobre a los usuarios de una autopista de cuota en estado deficiente, el mismo monto que corresponde a una en buen estado. La inquietud anterior se envió a la Subsecretaría de Ingresos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, la cual convocó a un grupo de especialistas para determinar los indicadores técnicos que definen la calidad de una autopista y puente, así como para generar una metodología que permita ajustar la cuota cobrada en función del valor de esos indicadores.

Así pues, la justificación de este trabajo se encuentra en realizar una contribución a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para que, en el ámbito de sus respectivas competencias permita tomar en consideración la calidad de un tramo carretero en el ajuste de la cuota cobrada al usuario por la circulación a través del mismo.

Este trabajo se enfoca a la generación de una correlación entre la tarifa pagada por usar la carretera, y su estado superficial, seguridad y demoras (calidad), para determinar la compensación a los usuarios derivada de los costos generados por dichos parámetros.

1.3 Fundamento teórico

La presente investigación considera el análisis de ajuste de peajes como función de tres parámetros de calidad fundamentales: el nivel de demoras; el índice de accidentalidad; y la calidad superficial del tramo.

El análisis considera tramos de longitud de 1 kilómetro (unitarios). Para las carreteras de varios kilómetros se adicionará para todos sus tramos unitarios, el efecto en el costo de transporte, del parámetro de calidad considerado.

Se cuantificará el ajuste requerido para la combinación de los tres parámetros de calidad considerados; cada uno de ellos a tres niveles (bajo, medio y alto). Para el caso de la calidad superficial del tramo, el IRI inicial propuesto para los tres niveles son: para el nivel bajo, mayor de 6m/km; para el medio, entre 3 y 6m/km; y para el alto, menor de 3m/km. Para los tres parámetros de calidad, se determinarán los tres rangos definitivos más convenientes.

Considerando las tres variables (parámetros de calidad) por tres niveles resulta un total de 27 combinaciones, las cuales se presentan en las Tablas 1.1 a 1.3. Cada renglón en las tablas corresponde a una combinación, y cada columna equivale a un vehículo característico de una cuota o peaje, generalmente en función de su número de ejes.

De acuerdo con lo anterior, la información base para estimar los valores de ajuste en los peajes serán los costos de transporte por kilómetro que se generen e ingresen en cada una de las 324 casillas de las tablas 1.1 a 1.3. El costo respectivo estará constituido por el costo de operación vehicular, el costo por demoras y el costo por accidentes. Para un tramo unitario, i , el ajuste a los peajes se efectuará con base en dicha información, y aplicando el principio de que el ajuste en el peaje (ΔPi) absorba las variaciones del costo de operación vehicular ($\Delta COVi$), del costo de accidentes (ΔCAi), y del costo por demoras (ΔCDi), en relación con una condición ideal de referencia, es decir:

$$\Delta CT_i = \Delta COV_i + \Delta CA_i + \Delta CD_i + \Delta P_i = 0 \quad (1.4)$$

Por tanto, para el tramo unitario i:

$$\Delta P_i = P_{1i} - P_{0i} = -COV_i - \Delta CA_i - \Delta CD_i = 0 \quad (1.5)$$

Para toda la carretera:

$$\Delta P = \sum \Delta P_i \quad (1.6)$$

Tabla 1.1
Nivel de demoras bajo

Nivel de demora	Índice de accidentes	Índice internacional de rugosidad	Tipo de vehículo												
			Auto	Autobús			Camión								
				N° de ejes			N° de ejes								
				2	3	4	2	3	4	5	6	7	8	9	
<i>Nd</i> (min)	<i>IA</i> ACC/veh-km-año	<i>IRI</i> m/km													
BAJO	Bajo	<3													
		3 – 6													
		>6													
	Medio	<3													
		3 – 6													
		>6													
	Alto	<3													
		3 – 6													
		>6													

Tabla 1.2
Nivel de demoras medio

Nivel de demora	Índice de accidentes	Índice internacional de rugosidad	Tipo de vehículo											
			Auto	Autobús			Camión							
				N° de ejes			N° de ejes							
				2	3	4	2	3	4	5	6	7	8	9
MEDIO	Bajo	<3												
		3 – 6												
		>6												
	Medio	<3												
		3 – 6												
		>6												
	Alto	<3												
		3 – 6												
		>6												

Tabla 1.3
Nivel de demoras alto

Nivel de demora	Índice de accidentes	Índice internacional de rugosidad	Tipo de vehículo											
			Auto	Autobús			Camión							
				N° de ejes			N° de ejes							
				2	3	4	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Nd</i> (min)	<i>IA</i> ACC/veh-km-año	<i>IRI</i> m/km												
ALTO	Bajo	<3												
		3 – 6												
		>6												
	Medio	<3												
		3 – 6												
		>6												
	Alto	<3												
		3 – 6												
		>6												

1.4 Objetivos

Analizar los factores que determinan la calidad de una carretera (estado superficial, accidentalidad, demoras) a fin de establecer la metodología para ligar calidad con peaje, y así proponer los factores de ajuste adecuados en las carreteras de cuota.

Establecer un esquema de tarifas justas y equitativas para los usuarios, y con ello motivar la toma de medidas (mantenimiento, conservación, etc), y ofrecer un servicio de calidad.

1.5 Hipótesis

Por principio de equidad al usuario, se asume que la cuota pagada le confiere el derecho de recibir un servicio que sea de buena calidad.

Se propone la hipótesis de que es factible generar una metodología para estimar un ajuste en las cuotas de peaje, cuando las condiciones de la carretera no sean las óptimas, suponiendo que un mal estado superficial en éstas, así como un elevado valor de demoras y un alto índice de accidentalidad, producen un sobre costo de transporte para el usuario, el cual debe ser compensado con el ajuste en las cuotas de peaje.

1.6 Metodología

En el presente trabajo, se buscará estimar un factor en el cual intervengan los factores de calidad mencionados (estado superficial, accidentalidad y demoras), cuantificándose con ello los parámetros de la ec 1.4.

Se necesitará realizar un análisis detallado de los tres indicadores que integran las ecs 1.1 y 4.4, ingresándose datos obtenidos mediante recopilación, y así con esto obtener los valores para llenar las tablas 1.1 a 1.3.

En general, el presente trabajo de tesis constará de los siguientes pasos:

- ✓ Mediante el programa "Vehicle Operating Cost" (VOC, por sus siglas en inglés), se calcularán los componentes de costo de operación vehicular y costo por demoras, así como la influencia del estado superficial de la carretera.
- ✓ De trabajos realizados con anterioridad en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), se estimará el costo de la accidentalidad, bajo diferentes condiciones prevalecientes en las carreteras.
- ✓ Se generará la información de las tablas 1.1 a 1.3, obteniéndose los costos correspondientes a demoras, accidentes y estado superficial de las carreteras.
- ✓ Para un caso real, se desarrollará un ejemplo de ajuste a las cuotas de peaje cobradas.

1.7 Alcances

Los alcances del trabajo se limitan a proponer factores de ajuste por calidad en las cuotas de peaje en carreteras de cuota, para los distintos tipos de vehículos, así como

el desarrollo de un ejemplo para un caso real.

En este primer capítulo se presenta la introducción conteniendo objetivos, metodología, etc.

El segundo capítulo corresponde al desarrollo de la información de costos de transporte y las principales variables empleadas es esta metodología; demoras, accidentalidad y estado superficial.

En el tercer capítulo se desarrolla el ejemplo del ajuste de las cuotas correspondiente a un caso real; la autopista de cuota México-Querétaro.

Y en el cuarto y último capítulo, algunas conclusiones y recomendaciones.

1.6 Utilidad del proyecto

Proporcionar a la SCT una metodología de ajuste a las cuotas cobradas en las carreteras de peaje, en función de su estado superficial, demoras, e índices de accidentalidad.

La aplicación de los resultados del trabajo resultará en esquemas tarifarios más justos y equitativos para los usuarios.

2 Costos de transporte por kilómetro

Se presenta el desarrollo de la información del costo de transporte por kilómetro, para los tres niveles de las variables seleccionadas: demoras, accidentalidad, y regularidad superficial de la carretera.

Primero se desarrollarán los estudios de costos por separado, para cada una de las variables; y posteriormente proceder a la integración de las tres variables en un factor común, vaciando los valores en tablas, las cuales arrojarán los costos que repercutirán en una reducción de las cuotas de peaje dependiendo de la calidad que presente la carretera de cuota.

2.1 Niveles de las variables

En esta sección se describen los niveles de las variables consideradas; demoras, accidentalidad y regularidad superficial

2.1.1 Demoras

Se definen como el retraso en el recorrido a través de un tramo, debido a alguna circunstancia (por ejemplo, realización de alguna obra), en relación con el tiempo de recorrido, bajo condiciones normales de operación (ref 1).

Para la selección de los niveles de esta variable se utilizan los principios del Manual de Capacidad Vial de Carreteras de los Estados Unidos (ref 1). En éste, en la definición de los niveles de servicio para un tramo carretero, interviene la variable “porcentaje de demora en tiempo” (% demora en tiempo), el que se define como el porcentaje medio sobre el tiempo total de recorrido de todos los vehículos, en el que se ven demorados al viajar en columna por un tramo de carretera; y esto se expresa como:

$$\% \text{ demora en tiempo} = \frac{t_1 - t_0}{t_0} \times 100 \quad (2.1)$$

Donde:

- t_1 = tiempo de recorrido a través del tramo (segmento unitario en este caso) bajo la circunstancia que genera la demora
- t_0 = tiempo de recorrido a través del tramo bajo condiciones normales de operación (en ausencia de la circunstancia que genera la demora)

Para el nivel bajo de demora, se adopta el rango correspondiente al nivel de servicio A, siendo ésta la máxima calidad de servicio, cuando los conductores son capaces de circular a la velocidad que desean. Para este nivel de demora se consideran velocidades próximas a la de proyecto (110km/h), y los conductores no sufren demoras superiores al 30% debido a vehículos lentos o cualquier otro factor que afecte este nivel bajo de demoras (obras de conservación, etc). Dentro del rango antes mencionado (0-30% de demoras), para los análisis que serán efectuados se adopta el valor puntual de 10% para el nivel bajo de demoras.

Para el nivel intermedio, se recurre al rango comprendido en el nivel de servicio B, el

cual representa unas condiciones de circulación que en terreno llano producen velocidades de 88km/h, o ligeramente superiores. Los conductores sufren demoras de hasta el 45% como valor medio. Cuando se presentan valores mayores de demora, el nivel de servicio se deteriora rápidamente. Dentro del rango mencionado (30-45% de demoras), para los análisis que serán efectuados, se adopta el valor puntual de 40% en el nivel intermedio de demoras.

Para el nivel alto, se opta por el rango comprendido dentro del nivel de servicio C, así como los niveles subsecuentes, dando lugar a notables incrementos del proceso de formación de columnas vehiculares, de la longitud de las columnas y de la frecuencia con que ve impedido el adelantamiento o revase. La velocidad media, aún supera dentro del nivel de servicio C, los 83km/h en terreno llano, aun cuando se exceda la capacidad (ya sea por reconstrucciones, conservación, etc). Dentro del rango antes mencionado (demoras por encima de 45%), para los análisis que serán efectuados, se adopta el valor puntual de 100% en el nivel alto de demoras.

En los tres casos se puede ver una reducción de la velocidad, misma que se verá reflejada en forma directa en el tiempo de recorrido total, dependiendo del rango en el que se incida por el tipo de demora ocurrida, repercutiendo esto en los costos de operación de los usuarios.

En este trabajo, los valores puntuales seleccionados para los tres niveles de demoras (10% para el nivel bajo; 40% para el nivel intermedio; y 100% para el nivel alto) se utilizarán para los tres tipos de terreno (plano, lomerío y montañoso).

A manera de ejemplo del efecto en la velocidad de los tres niveles de demora seleccionados, se presenta la tabla 2.1, la cual corresponde a terreno plano (velocidad de proyecto, igual a 110km/h). En la columna 5 se presenta el tiempo de recorrido (en seg) por kilómetro, a la velocidad de proyecto de 110km/h. La columna 6 contiene el tiempo de recorrido (en seg) por kilómetro después de aplicar el porcentaje de demora correspondiente a los diferentes niveles de servicio. La columna 7 presenta las velocidades correspondientes a los tiempos por kilómetro en la columna 6.

Como puede observarse a partir del primer renglón en la tabla 2.1, una perturbación en el tránsito (tal como el cierre de carriles por la realización de obras) que genere hasta un 30% de demora en tiempo en una carretera con velocidad vehicular promedio de 110km/h antes de dicha perturbación, bajaría la velocidad hasta 85km/h. Similarmente, un 45% de demora en tiempo, reduciría la velocidad hasta 76km/h; y un 60%, acortaría la velocidad hasta 6km/h.

Cabe aclarar que aunque en los planteamientos anteriores no se hace énfasis en la naturaleza aleatoria de las variables y rangos involucrados (los tiempos de recorrido, el porcentaje de demora en tiempo, y los rangos correspondientes a los tres niveles de demora seleccionados), dicha naturaleza no se ignora; y ella será considerada utilizando, para esas variables y rangos, valores medios obtenidos de muestras de tamaño confiable.

Tabla 2.1. Efecto de los diferentes niveles de demoras en la velocidad

Nivel de servicio Columna 1	Nivel de demora Columna 2	Velocidad de proyecto km/h Columna 3	% de demoras en tiempo Columna 4	Tiempo/km a la velocidad de proyecto s Columna 5	Tiempo/km con la demora s Columna 6	Velocidad con la demora km/h Columna 7
A	Alto	110	≤ 30	33	43	85
B	Medio	110	≤ 45	33	47	76
C	Bajo	110	≤ 60	33	52	69
D	-	110	≤ 75	33	57	63
E	-	110	> 75	33	57	63

2.1.2 Accidentalidad

Un accidente vial es resultado de la interacción de una serie de causas relacionadas con los usuarios del camino, los vehículos, la infraestructura, el tránsito vial, y a una serie de circunstancias externas (meteorología, visibilidad, etc), por tanto, no puede ser imputado a un solo factor. No obstante lo anterior, un elevado porcentaje de los accidentes tienen como factor predominante el error humano. Sin embargo, las acciones de mejoramiento en la infraestructura y en las características de los automotores pueden contribuir a reducir las situaciones de conflicto, y en consecuencia disminuir la frecuencia y la severidad de los accidentes (ref 2).

Por tanto, cuando se habla de accidentalidad se refiere al suceso eventual que altera el orden regular del tráfico en las carreteras; son acciones de las que resultan daños a las cosas y/o a las personas. Es un indicador de carácter cuantitativo, que permite identificar causas y efectos de los eventos.

Este indicador es el instrumento para medir la gravedad del problema en números relativos. Básicamente, existen dos tipos: los que se refieren al total de accidentes, y los que se refieren al total de muertos; en ambos casos, es costumbre tomar como periodo un año.

Tradicionalmente, los programas de seguridad se han centrado en el tratamiento de los llamados "puntos negros", entendiendo como tales los tramos de carretera de una longitud prefijada (para este estudio se tomarán segmentos de 1km), en los que se ha producido un número de percances superior a un límite establecido a lo largo de un determinado período (ref 2).

Para la integración del factor de accidentalidad, se tomarán los llamados Índices de accidentalidad. Existen distintos tipos de índices, pero nosotros tomaremos los índices con base al kilometraje generado, el cual representa los vehículos-kilómetro, mismos que se determinan multiplicando el número de automotores al año (tránsito diario promedio anual multiplicado por 365) por la longitud del viaje. Una vez obtenido este valor, se calculan los índices, con base en el kilometraje generado, también llamados índices con respecto al tránsito. Estos índices se pueden presentar en función al número de percances (índice de accidentalidad); al número de lesionados (índice de morbilidad) y al número de muertos (índice de mortalidad); al número de víctimas (índice de víctimas); al número de accidentes con víctimas (índice de peligrosidad); a la gravedad de los accidentes, etc.

Para este trabajo sólo nos enfocaremos en el índice del número de accidentes equivalentes (*NAE*) por millón de vehículos-kilómetro recorridos. La parte del *NAE* del índice anterior considera el impacto de la severidad de los percances, es decir, se toma en cuenta a las víctimas de un accidente. Para ello se utiliza el criterio que por cada muerto se consideran seis accidentes, y por cada lesionado dos accidentes. Con la siguiente expresión se obtiene el *NAE*:

$$NAE = \text{número de accidentes} + 6(\text{número de muertos}) + 2(\text{número de lesionados}) \quad (2.2)$$

Asimismo, el índice para el número de accidentes equivalentes, se calcula como:

$$I_{NAE/K} = \frac{(NAE \text{ anuales})(1 \times 10^6)}{Veh - km} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

NAE = número de accidentes equivalentes

$Veh-km$ = vehículos-kilómetro recorridos en el año, en el tramo

Dada la metodología establecida, para la accidentalidad deben seleccionarse tres niveles de incremento de accidentalidad (bajo, medio y alto), de manera similar a como se hizo para las demoras.

Para los fines de este trabajo, la variable relevante en relación con la accidentalidad será el incremento del índice $I_{NAE/K}$ como resultado de alguna circunstancia que aumente la peligrosidad (por ejemplo, el desarrollo de alguna obra).

Para el nivel bajo de incremento de accidentalidad, se adopta el rango correspondiente a un crecimiento de menos de uno en el índice $I_{NAE/K}$. Dentro de este rango, para los análisis que serán efectuados, se adopta el valor puntual de cero para el incremento del índice $I_{NAE/K}$ correspondiente a este nivel.

Para el nivel medio de incremento de accidentalidad, se adopta el rango correspondiente a un aumento desde uno hasta menos de dos en el índice $I_{NAE/K}$. Dentro este rango, para los análisis que serán efectuados, se adopta el valor puntual de uno para el incremento del índice $I_{NAE/K}$ correspondiente a este nivel.

Para el nivel alto de incremento de accidentalidad, se adopta el rango correspondiente a un crecimiento de dos o más en el índice $I_{NAE/K}$. Se establece el valor puntual de dos para el aumento del índice $I_{NAE/K}$ correspondiente a este nivel.

Los fundamentos bajo los cuales se determinaron los rangos anteriores, provienen del cálculo del índice de nivel de accidentes equivalentes ($I_{NAE/K}$) para cada uno de los tramos con percances registrados en los datos estadísticos más recientes de accidentalidad para toda la red de carreteras de cuota del país (ref 2).

El valor promedio del $I_{NAE/K}$ para todos los tramos fue de 1.368, obteniéndose además un valor mínimo para dicho índice de 0,058 y uno máximo de 7.005. El rango entre el valor mínimo y máximo anterior es de 6,947. Por tanto, se tomó como igual a cero el incremento de accidentalidad de nivel bajo del $I_{NAE/K}$ entre la condición operativa normal y la agravada debido a alguna circunstancia especial (por ejemplo, alguna obra). Asimismo, se tomó estimativamente el 15% de dicho rango (alrededor de uno) para el incremento de accidentalidad de nivel medio del $I_{NAE/K}$. Finalmente, el incremento de accidentalidad de nivel alto del $I_{NAE/K}$ quedó definido para 30% del rango observado (alrededor de dos)

La tabla 2.2 resume el rango de variación del $I_{NAE/K}$, para los tres niveles de incremento (Δ) de accidentalidad propuestos.

Tabla 2.2
Niveles de incremento (Δ) de la accidentalidad

Nivel de incremento de accidentalidad	Rango
Bajo	Δ del $I_{NAE/K} = 0$
Medio	$1 < \Delta$ del $I_{NAE/K} = 1$
Alto	Δ del $I_{NAE/K} = 2$

2.1.3 Regularidad superficial

La regularidad superficial de un tramo carretero se mide a través del índice internacional de rugosidad (*IRI*). El *IRI* es una medida de la rugosidad, entendida como las deformaciones verticales de la superficie de un camino con respecto a la superficie plana, mismas que afectan la dinámica del vehículo; la calidad de viaje; las cargas dinámicas; y el drenaje superficial del camino. La rugosidad es, por tanto, una característica del perfil longitudinal de la superficie recorrida, y el índice internacional de rugosidad puede definirse como la suma de las irregularidades verticales (en valor absoluto) a lo largo de la zona de rodadura de un tramo homogéneo de carretera, entre la longitud del mismo; su unidad de medida es m/km.

El índice de rugosidad internacional (*IRI*) fue aceptado como estándar de medida de la regularidad superficial de un camino por el Banco Mundial en 1986. Su obtención es posible correlacionarla con cualquier equipo de medición de la rugosidad de un pavimento (ref 3).

El cálculo matemático del índice internacional de rugosidad relaciona la acumulación del desplazamiento (en valor absoluto), de la masa superior con respecto a la inferior de un vehículo modelo, dividido entre la distancia recorrida sobre un camino transitado por la unidad a una velocidad de 80km/h. El *IRI* se expresa en unidades de mm/m; m/km; in/milla; etc. Para un camino pavimentado, el rango de la escala del *IRI* es de a 0 a 12m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme, y 12 un camino prácticamente intransitable (ref 4).

Se considera un pavimento en buen estado superficial el rango correspondiente a un valor del *IRI* de hasta 2.5m/km. Dentro del rango anterior, para los análisis que serán efectuados, se adopta el valor puntual de 2m/km para el *IRI* correspondiente a este nivel (nivel bajo).

Se estima un pavimento con un nivel medio de estado superficial al rango correspondiente a un valor del *IRI* entre 2.5m/km y 5m/km. Dentro de este rango, para los análisis que serán efectuados, se adopta el valor puntual de 4m/km para el *IRI* correspondiente a este nivel.

Por último, se califica como un pavimento con un nivel malo de estado superficial al rango correspondiente a un valor del *IRI* mayor a 5m/km. Dentro de este rango, para los análisis que serán efectuados, se adopta el valor puntual de 6m/km para el *IRI* correspondiente a este nivel.

En la tabla 2.3 se presentan los valores propuestos para los tres niveles de calidad

superficial.

Tabla 2.3
Rango en calidad superficial

Calidad superficial	Rango (valores puntuales)
Buena	<i>IRI</i> = 2.0 m/km
Media	<i>IRI</i> = 4.0 m/km
Mala	<i>IRI</i> = 6.0 m/km

2.2. Cálculo de descuentos

El cálculo de los descuentos para los tres conceptos antes mencionados (demoras, estado superficial y accidentalidad) fue efectuado para las siguientes configuraciones vehiculares:

- ✓ Vehículo utilitario (A)
- ✓ Autobús foráneo (B)
- ✓ Camión de tres ejes (C3)
- ✓ Tractocamión articulado (T3S2)
- ✓ Tractocamión doblemente articulado (T3S2R4).

Se tomaron estos vehículos, puesto que se consideran como los más representativos para el cobro de cuotas de peaje.

El vehículo utilitario (A) se refiere a uno de tipo ligero el cual se consideró para obtener los costos de operación con los valores de un auto tipo Urvan Nissan, modelo 2006, con motor de 139HP (SAE NETO).

Los valores considerados para el autobús foráneo (B) son los correspondientes a un Scania K380, modelo 2006, motor Scania DC12 EPA, de 380HP (SAE NETO).

Los valores correspondientes al camión de tres ejes (C3) son los referidos a un International 4400 modelo 2006, motor Navistar DT de 250HP (SAE NETO), con carrocería de redilas de 23 pies.

Los valores considerados para el tractocamión articulado (T3S2) son los correspondientes a un tractor International 9200i, modelo 2006, motor Cummins ISX de 450HP (SAE NETO), con un semirremolque de dos ejes con caja de 40 pies.

Por último, para un tractocamión doblemente articulado (T3S2R4), se tomaron los valores de un tractor International 9200i, modelo 2006, motor Cummins ISX de 450 HP (SAE NETO), con un semirremolque de dos ejes y un remolque de cuatro ejes con cajas de 40 pies.

Los valores de los datos complementarios para cada una de las configuraciones analizadas, se consideraron valores por omisión asignados de los resultados de estudios en Brasil.

definición enunciada en la sección 2.1.1 (Demoras), ya que se trata de un retraso en el recorrido a través de un tramo por alguna circunstancia (p.ej., la realización de alguna obra), en relación con el tiempo de recorrido, bajo condiciones normales de operación. Entonces, se puede decir que se ven reflejadas en una reducción en la velocidad del vehículo del usuario.

Mediante el uso del programa VOCMEX (ref 5), que es la versión adaptada a México (con las características técnicas de los vehículos que operan en México) del programa denominado “costos de operación vehicular” (VOC, por sus siglas en inglés), se obtuvieron los montos de operación de cada unidad propuesta de la siguiente forma:

Se tomó inicialmente como porcentaje inicial de demoras correspondiente a un nivel bajo (0%), con una pendiente de 0%, y una curvatura horizontal promedio de 0 grados/km, correspondientes a un terreno plano, para la obtención del costo de operación base para cada uno de los vehículos propuestos.

Para hacer el cálculo de descuentos, se partió inicialmente del vehículo utilitario, y se aplicó el porcentaje base de demoras (demora 0) y un terreno plano, considerado para el nivel bajo de demoras. Posteriormente, también se realizó el cálculo de costos de operación para cada porcentaje de demoras, nivel medio (demoras igual a 40%), y para un nivel alto de demoras (demoras igual a 100%). De esta manera se obtuvo el descuento por kilómetro, tomando como partida el nivel de demoras 0 y aplicándoles la diferencia a cada uno de los niveles de demora (nivel de demora medio y alto). Subsecuentemente, se conocieron los costos para un tipo de terreno ondulado (pendiente igual a 2%) y una curvatura horizontal promedio de 400 grados/km, aplicando el mismo procedimiento descrito anteriormente. Por último, se realizó la estimación de descuento para un terreno montañoso, considerando una pendiente del 4% y una curvatura horizontal promedio de 400 grados/km, siguiendo el mismo procedimiento ya descrito.

Así pues, se aplicó este mismo método para los demás vehículos considerados (B, C3, T3S2 y T3S2R4).

En esta sección no se consideró el efecto de la distribución de las unidades entre los distintos tipos (composición vehicular). Como tal, sólo se tomaron en las demoras como un producto final para cada configuración vehicular, no así para la accidentalidad, donde sí se consideró la participación relativa de cada tipo de vehículo en el costo de los accidentes.

2.2.2 Accidentalidad

Para calcular el efecto de la accidentalidad, que viene relacionado de manera directa con la seguridad que presenta la carretera hacia el usuario, se consideró como primicia el nivel de accidentes equivalentes tomados del anuario estadístico más reciente.

Una vez obtenido el *NAE* (nivel de accidente equivalentes) y con los datos estadísticos mencionados, se obtuvo el índice $I_{NAE/K}$ descrito en secciones anteriores. Seguido a esto se logró el promedio, así como el valor mínimo y el máximo; esto con el fin de establecer los rangos para determinar los tres niveles de accidentalidad descritos.

Se tomaron los costos por accidente ya establecidos para relacionarlos de esta manera a los índices obtenidos, y así definir un costo aplicable a cada nivel de

accidentalidad.

Por otro lado, se tomaron los valores estadísticos más recientes donde se considera la participación en accidentes dependiendo de la configuración vehicular, para establecer los valores proporcionales a cada tipo de vehículo.

Por último, se realizó la integración de un costo relacionado con el descuento propuesto para cada tipo de vehículo dependiendo del nivel de accidentalidad en el que incida (bajo, medio, alto); de esta forma se pudo fijar el descuento aplicable a la cuota de peaje.

2.2.3 Regularidad Superficial

De manera similar al caso de las demoras, el cálculo de los descuentos relacionados con la regularidad superficial se obtuvo mediante el uso del programa VOCMEX (Vehicle Operating Costs, versión para México), aplicando los niveles propuestos para el IRI: nivel bueno, *IRI* igual a 2m/km; nivel medio, *IRI* igual a 4m/km y por último, para un nivel malo, *IRI* igual a 6m/lkm.

Una vez conocidos los costos de operación para los tres factores propuestos, se llevo a cabo la integración de una tabla conjunta de descuentos, en la cual se ven de forma tácita los descuentos aplicables a las cuotas de peaje actuales, dependiendo de las características de la carretera de cuota.

2.2.4 Tablas de descuentos

Como resultado de la aplicación de los procedimientos mencionados, se generaron las tablas 2.4 a 2.8, las cuales muestran los descuentos para las distintas combinaciones de los niveles considerados para demoras, accidentalidad y regularidad superficial, en vehículos tipo: utilitario, B; C3; T3S2; y T3S2R4 respectivamente.

Se asume que en ningún caso se aplicará un descuento mayor al 80% de la tarifa de peaje cobrada; de esta manera, cuando se exceda de ese porcentaje se tomará un descuento equivalente al 80%.

A manera de ejemplo, para el caso de un vehículo utilitario o vehículo ligero, puede observarse que si, como resultado de una obra en 1km de carretera de cuota en terreno plano, el incremento en su $I_{NAE/K}$ es de 1 y las demoras son del 40%; para un *IRI* de 6, el descuento correspondiente según la tabla 2.4 sería de 0.626 pesos/km. Si por ese kilómetro se cobra un cuota de 1.168 pesos/km en condiciones ideales, para las condiciones actuales habría que cobrar 0.542 pesos/km, es decir, alrededor de 46.4% de lo estipulado en condiciones ideales.

Tomando el mismo ejemplo anterior, pero ahora para una unidad tipo B (autobús foráneo), según la tabla 2.5 el descuento sería de 1.3107 pesos/km. Si por ese kilómetro se cobra un cuota de 2.374 pesos/km en condiciones ideales, para las condiciones actuales habría que cobrar 1.063 pesos/km, es decir, alrededor de 44.8% de lo cobrado en condiciones ideales.

Para el vehículo C3 (camión de 3 ejes), tomando el ejemplo ya mencionado, según la tabla 2.6 el descuento sería de 1.8526 pesos/km. Si por ese kilómetro se tasa una cuota de 2.336 pesos/km en condiciones ideales, para las condiciones supuestas habría de ser 0.484 pesos/km, es decir, alrededor de 20.7% de lo cobrado en condiciones ideales.

Para el caso del vehículo T3S2, con los mismos datos del ejemplo analizado y ahora la tabla 2.7, encontramos un valor de 3.3586 pesos/km, el cual se le descontaría a la cuota existente para este tipo de unidad. Si suponemos una tarifa de 4.5420 pesos/km para condiciones ideales, obtendríamos una tarifa ajustada de 1.1834 pesos/km, es decir, alrededor de 26.05% de lo cobrado en condiciones ideales.

Por último, analizando el vehículo T3S2R4, para el mismo ejemplo y tomando ahora la tabla 2.8, obtenemos un valor de reducción en la tarifa, de 3.7396 pesos/km, misma que si se descuenta a la de 6.579 pesos/km, se deduce un monto ajustado de 2.8398 pesos/km, es decir, alrededor de 43.16% de lo cobrado en condiciones ideales.

Una vez analizados estos ejemplos sencillos para cada tipo de vehículo propuesto, se procedió a estudiar de forma detallada un caso real de aplicación del descuento, tomando como tema de estudio, la autopista México-Querétaro para encontrar el ajuste correspondiente generado por la situación actual que presenta dicha vía de cuota. El ejemplo se presenta en el capítulo posterior, donde también se da la explicación detallada del procedimiento realizado con el cual se obtuvieron los valores representativos de esa autopista.

A continuación, dentro de este segundo capítulo, se presentan las tablas de reducción de peaje por kilómetro de recorrido en carretera de cuota, para los diferentes rangos y condiciones propuestos en este trabajo, mismas que resultan representativas para los caminos de cuota considerados.

Se presentan cinco tablas: una por cada tipo de vehículo considerado (vehículo utilitario o ligero, autobús, camión de tres ejes, y tractocamión de nueve ejes). Dentro de cada una de las tablas se presentan las reducciones en costo, ya integradas y afectadas con los tres factores comprendidos (demoras, accidentalidad y calidad superficial).

Después de las cinco tablas de costos de descuentos, se presentan cuatro figuras, en las cuales se hace referencia a la comparación en cuanto a la cantidad en costo de las reducciones que se presentan para cada tipo de vehículo, bajo diferentes condiciones de calidad de la carretera. En estas figuras, se puede observar y deducir diferentes aspectos, por ejemplo, la forma en que las demoras van afectando la disminución del peaje. También se podrá observar el punto en el cual se empezará a tomar la misma cantidad de reducción, debido a que se propone en este trabajo, en ninguno de los casos, llegar a la disminución del 100% de la tarifa cobrada.

Dichas figuras van relacionadas directamente con el nivel de demoras y la reducción en el costo de peaje, pero también estarán divididos por las distintas condiciones de accidentalidad y calidad superficial de la carretera.

Las figuras se obtuvieron mediante las tablas que a continuación se presentan, mismas que arrojan los valores de los descuentos aplicados a las tarifas de peaje actuales, que se verán con más claridad cuando se realice el descuento en el ejemplo real de la autopista México-Querétaro descrito, en el capítulo posterior.

Tabla 2.4
Reducción en pesos en peajes por km recorrido de carretera de cuota según sus características (demoras, accidentalidad y regularidad superficial), para un vehículo tipo A.

VEHICULO: UTILITARIO			T. PLANO				T. LOMERIO			T. MONTAÑOSO		
ACCIDENTALIDAD		EDO. SUP.	DEMORAS			DESCUENTO			DESCUENTO			DESCUENTO
D INAE	COST ACC.	IRI	DEMORAS	VEL.	C.O./km	TOTAL/km	VEL.	C.O./km	TOTAL/km	VEL.	C.O./km	TOTAL/km
0	0	2	0	98.19	2.77399	0.0000	75.92	3.01883	0	61.73	3.33896	0
			10		2.77687	-0.0029	69.33	3.06322	-0.0444		3.41826	-0.0793
			40		2.85856	-0.0846		3.25222	-0.2334		3.68675	-0.3478
			100		3.15822	-0.3842		3.70653	-0.6877		4.27794	-0.9390
		4	0	94.76	2.93061	-0.1566	74.64	3.18395	-0.1651	61.14	3.50425	-0.1653
			10	86.03	2.93998	-0.1660		3.23383	-0.2150		3.58499	-0.2460
			40		3.03705	-0.2631		3.42722	-0.4084		3.85760	-0.5186
			100		3.35880	-0.5848		3.89239	-0.8736		4.45544	-1.1165
		6	0	87.32	3.14429	-0.3703	71.63	3.41051	-0.3917	59.74	3.72941	-0.3905
			10		3.16862	-0.3946		3.46706	-0.4482		3.81384	-0.4749
			40		3.29999	-0.5260		3.67702	-0.6582		4.09612	-0.7572
			100		3.66997	-0.8960		4.16840	-1.1496		4.70946	-1.3705
1	-0.1	2	0			-0.1000			-0.1000			-0.1000
			10			-0.1029			-0.1444			-0.1793
			40			-0.1846			-0.3334			-0.4478
			100			-0.4842			-0.7877			-1.0390
		4	0			-0.2566			-0.2651			-0.2653
			10			-0.2660			-0.3150			-0.3460
			40			-0.3631			-0.5084			-0.6186
			100			-0.6848			-0.9736			-1.2165
		6	0			-0.4703			-0.4917			-0.4905
			10			-0.4946			-0.5482			-0.5749
			40			-0.6260			-0.7582			-0.8572
			100			-0.9960			-1.2496			-1.4705
2	-0.2	2	0			-0.2000			-0.2000			-0.2000
			10			-0.2029			-0.2444			-0.2793
			40			-0.2846			-0.4334			-0.5478
			100			-0.5842			-0.8877			-1.1390
		4	0			-0.3566			-0.3651			-0.3653
			10			-0.3660			-0.4150			-0.4460
			40			-0.4631			-0.6084			-0.7186
			100			-0.7848			-1.0736			-1.3165
		6	0			-0.5703			-0.5917			-0.5905
			10			-0.5946			-0.6482			-0.6749
			40			-0.7260			-0.8582			-0.9572
			100			-1.0960			-1.3496			-1.5705

2 Costos de transporte por kilómetro

Tabla 2.5
Reducción en pesos en peajes por km recorrido de carretera de cuota según sus características (demoras, accidentalidad y regularidad superficial), para un vehículo tipo B

VEHICULO: B			T. PLANO				T. LOMERIO			T. MONTAÑOSO		
ACCIDENTALIDAD		EDO. SUP.	DEMORAS			DESCUENTO TOTAL/km	VEL.	C.O./km	DESCUENTO TOTAL/km	VEL.	C.O./km	DESCUENTO TOTAL/km
D INAE	COST ACC.	IRI	DEMORAS	VEL.	C.O./km							
0	0	2	0	100.4	8.23355	0.0000	75.14	9.8774	0	57.63	11.96452	0
			10		8.23355	0.0000		9.89311	-0.0157	52.23	12.07912	-0.1146
			40		8.28854	-0.0550		10.15749	-0.2801		12.56012	-0.5956
			100		8.87263	-0.6391		11.07294	-1.1955		13.81378	-1.8493
		4	0	96.47	8.6623	-0.4288	73.85	10.33105	-0.4537	57.11	12.44965	-0.4851
			10	87.85	8.68168	-0.4481		10.35179	-0.4744		12.56119	-0.5967
			40		8.74804	-0.5145		10.6255	-0.7481		13.05157	-1.0871
			100		9.39205	-1.1585		11.56994	-1.6925		14.31962	-2.3551
		6	0	87.08	9.13957	-0.9060	70.5	10.83389	-0.9565	55.85	12.99644	-1.0319
			10		9.14317	-0.9096		10.87612	-0.9987		13.11702	-1.1525
			40		9.34426	-1.1107		11.20671	-1.3293		13.62652	-1.6620
			100		10.14374	-1.9102		12.22230	-2.3449		14.93812	-2.9736
1	-0.2	2	0			-0.2000			-0.2000			-0.2000
			10			-0.2000			-0.2157			-0.3146
			40			-0.2550			-0.4801			-0.7956
			100			-0.8391			-1.3955			-2.0493
		4	0			-0.6288			-0.6537			-0.6851
			10			-0.6481			-0.6744			-0.7967
			40			-0.7145			-0.9481			-1.2871
			100			-1.3585			-1.8925			-2.5551
		6	0			-1.1060			-1.1565			-1.2319
			10			-1.1096			-1.1987			-1.3525
			40			-1.3107			-1.5293			-1.8620
			100			-2.1102			-2.5449			-3.1736
2	-0.3	2	0			-0.3000			-0.4000			-0.4000
			10			-0.3000			-0.4157			-0.5146
			40			-0.3550			-0.6801			-0.9956
			100			-0.9391			-1.5955			-2.2493
		4	0			-0.7288			-0.8537			-0.8851
			10			-0.7481			-0.8744			-0.9967
			40			-0.8145			-1.1481			-1.4871
			100			-1.4585			-2.0925			-2.7551
		6	0			-1.2060			-1.3565			-1.4319
			10			-1.2096			-1.3987			-1.5525
			40			-1.4107			-1.7293			-2.0620
			100			-2.2102			-2.7449			-3.3736

Tabla 2.6
Reducción en pesos en peajes por km recorrido de carretera de cuota según sus características (demoras, accidentalidad y regularidad superficial), para un vehículo tipo C3.

VEHICULO: C3			T. PLANO				T. LOMERIO			T. MONTAÑOSO		
ACCIDENTALIDAD		EDO. SUP.	DEMORAS			DESCUENTO TOTAL/km			DESCUENTO TOTAL/km			DESCUENTO TOTAL/km
D INAE	COST ACC.	IRI	DEMORAS	VEL.	C.O./km		VEL.	C.O./km		VEL.	C.O./km	
0	0	2	0	83.9	5.92141	0.0000	56.15	7.60398	0	42.24	9.6574	0
			10		5.92141	0.0000		7.60774	-0.0038		9.73043	-0.0730
			40		5.93329	-0.0119		7.79574	-0.1918		10.08917	-0.4318
			100		6.28559	-0.3642		8.51321	-0.9092		11.08137	-1.4240
		4	0	79.37	6.67035	-0.7489	55.02	8.35745	-0.7535	41.77	10.43241	-0.7750
			10		6.67035	-0.7489	49.83	8.36393	-0.7600		10.50682	-0.8494
			40		6.67035	-0.7489		8.56335	-0.9594		10.86934	-1.2119
			100		7.09487	-1.1735		9.30574	-1.7018		11.87157	-2.2142
		6	0	70.79	7.37656	-1.4552	52.63	9.09808	-1.4941	40.82	11.20316	-1.5458
			10		7.37656	-1.4552		9.11647	-1.5125		11.28428	-1.6269
			40		7.47396	-1.5526		9.3513	-1.7473		11.6622	-2.0048
			100		8.04499	-2.1236		10.16205	-2.5581		12.69436	-3.0370
1	-0.3	2	0			-0.3000			-0.3000			-0.3000
			10			-0.3000			-0.3038			-0.3730
			40			-0.3119			-0.4918			-0.7318
			100			-0.6642			-1.2092			-1.7240
		4	0			-1.0489			-1.0535			-1.0750
			10			-1.0489			-1.0600			-1.1494
			40			-1.0489			-1.2594			-1.5119
			100			-1.4735			-2.0018			-2.5142
		6	0			-1.7552			-1.7941			-1.8458
			10			-1.7552			-1.8125			-1.9269
			40			-1.8526			-2.0473			-2.3048
			100			-2.4236			-2.8581			-3.3370
2	-0.7	2	0			-0.7000			-0.6000			-0.6000
			10			-0.7000			-0.6038			-0.6730
			40			-0.7119			-0.7918			-1.0318
			100			-1.0642			-1.5092			-2.0240
		4	0			-1.4489			-1.3535			-1.3750
			10			-1.4489			-1.3600			-1.4494
			40			-1.4489			-1.5594			-1.8119
			100			-1.8735			-2.3018			-2.8142
		6	0			-2.1552			-2.0941			-2.1458
			10			-2.1552			-2.1125			-2.2269
			40			-2.2526			-2.3473			-2.6048
			100			-2.8236			-3.1581			-3.6370

2 Costos de transporte por kilómetro

Tabla 2.7
Reducción en pesos en peajes por km recorrido de carretera de cuota según sus características (demoras, accidentalidad y regularidad superficial), para un vehículo tipo T3S2.

VEHICULO: T3S2			T. PLANO				T. LOMERIO			T. MONTAÑOSO		
ACCIDENTALIDAD		EDO. SUP.	DEMORAS			DESCUENTO TOTAL/km	VEL.	C.O./km	DESCUENTO TOTAL/km	VEL.	C.O./km	DESCUENTO TOTAL/km
D INAE	COST ACC.	IRI	DEMORAS	VEL.	C.O./km							
0	0	2	0	96.72	9.17871	0.0000	61.03	11.12089	0	44.88	13.65038	
			10		9.17871	0.0000	55.31	11.21194	-0.0911		13.8339	-0.1835
			40		9.24401	-0.0653		11.6023	-0.4814		14.46703	-0.8166
			100		9.77875	-0.6000		12.61825	-1.4974		13.6283	0.0221
		4	0	83.41	10.21794	-1.0392	59.16	12.20627	-1.0854	44.29	14.75618	-1.1058
			10	75.91	10.22139	-1.0427		12.30237	-1.1815		14.94315	-1.2928
			40		10.40488	-1.2262		12.72106	-1.6002		15.58583	-1.9355
			100		11.09636	-1.9177		13.78142	-2.6605		17.04975	-3.3994
		6	0	65.38	11.32439	-2.1457	53.97	13.34213	-2.2212	42.62	15.89785	-2.2475
			10	59.69	11.41872	-2.2400		13.4737	-2.3528		16.09789	-2.4475
			40		11.83727	-2.6586		13.49919	-2.3783		16.77518	-3.1248
			100		12.86333	-3.6846		15.19500	-4.0741		18.30692	-4.6565
1	-0.7	2	0			-0.7000			-0.7000			-0.7000
			10			-0.7000			-0.7911			-0.8835
			40			-0.7653			-1.1814			-1.5167
			100			-1.3000			-2.1974			-0.6779
		4	0			-1.7392			-1.7854			-1.8058
			10			-1.7427			-1.8815			-1.9928
			40			-1.9262			-2.3002			-2.6355
			100			-2.6177			-3.3605			-4.0994
		6	0			-2.8457			-2.9212			-2.9475
			10			-2.9400			-3.0528			-3.1475
			40			-3.3586			-3.0783			-3.8248
			100			-4.3846			-4.7741			-5.3565
2	-1.4	2	0			-1.4000			-1.4000			-1.4000
			10			-1.4000			-1.4911			-1.5835
			40			-1.4653			-1.8814			-2.2167
			100			-2.0000			-2.8974			-1.3779
		4	0			-2.4392			-2.4854			-2.5058
			10			-2.4427			-2.5815			-2.6928
			40			-2.6262			-3.0002			-3.3355
			100			-3.3177			-4.0605			-4.7994
		6	0			-3.5457			-3.6212			-3.6475
			10			-3.6400			-3.7528			-3.8475
			40			-4.0586			-3.7783			-4.5248
			100			-5.0846			-5.4741			-6.0565

Tabla 2.8
Reducción en pesos en peajes por km recorrido de carretera de cuota según sus características (demoras, accidentalidad y regularidad superficial), para un vehículo tipo T3S2R4.

VEHICULO: T3S2R4			T. PLANO				T. LOMERIO			T. MONTAÑOSO		
ACCIDENTALIDAD		EDO. SUP.	DEMORAS			DESCUENTO TOTAL/km			DESCUENTO TOTAL/km			DESCUENTO TOTAL/km
D INAE	COST ACC.	IRI	DEMORAS	VEL.	C.O./km		VEL.	C.O./km		VEL.	C.O./km	
0	0	2	0	72.55	12.52720	0.0000	4.74	16.49989	0	29.6	21.26947	
			10	65.67	12.53877	-0.0116		16.69025	-0.1904	27.03	21.5935	-0.3240
			40		12.77252	-0.2453		17.39918	-0.8993		22.72517	-1.4557
			100		13.60980	-1.0826		19.04206	-2.5422		26.01377	-4.7443
		4	0	67.95	13.84524	-1.3180	41.81	17.86978	-1.3699	29.31	22.68166	-1.4122
			10		13.87965	-1.3525		18.0204	-1.5205		23.02537	-1.7559
			40		14.17198	-1.6448		18.67981	-2.1799		24.14544	-2.8760
			100		15.10904	-2.5818		19.16097	-2.6611		26.58968	-5.3202
		6	0	67.95	13.84524	-1.3180	41.81	17.86978	-1.3699	29.31	22.68166	-1.4122
			10		13.87965	-1.3525		18.0204	-1.5205		23.02537	-1.7559
			40		14.16678	-1.6396		18.71821	-2.2183		24.12249	-2.8530
			100		15.10904	-2.5818		20.34823	-3.8483		27.03976	-5.7703
1	-2.1	2	0			-2.1000			-2.1000			-2.1000
			10			-2.1116			-2.2904			-2.4240
			40			-2.3453			-2.9993			-3.5557
			100			-3.1826			-4.6422			-6.8443
		4	0			-3.4180			-3.4699			-3.5122
			10			-3.4525			-3.6205			-3.8559
			40			-3.7448			-4.2799			-4.9760
			100			-4.6818			-4.7611			-7.4202
		6	0			-3.4180			-3.4699			-3.5122
			10			-3.4525			-3.6205			-3.8559
			40			-3.7396			-4.3183			-4.9530
			100			-4.6818			-5.9483			-7.8703
2	-4.2	2	0			-4.2000			-4.2000			-4.2000
			10			-4.2116			-4.3904			-4.5240
			40			-4.4453			-5.0993			-5.6557
			100			-5.2826			-6.7422			-8.9443
		4	0			-5.5180			-5.5699			-5.6122
			10			-5.5525			-5.7205			-5.9559
			40			-5.8448			-6.3799			-7.0760
			100			-6.7818			-6.8611			-9.5202
		6	0			-5.5180			-5.5699			-5.6122
			10			-5.5525			-5.7205			-5.9559
			40			-5.8396			-6.4183			-7.0530
			100			-6.7818			-8.0483			-9.9703

2 Costos de transporte por kilómetro

A continuación se presentan las figuras en donde se relacionan las reducciones tarifarias con los tres parámetros considerados (demoras, accidentes y regularidad superficial).

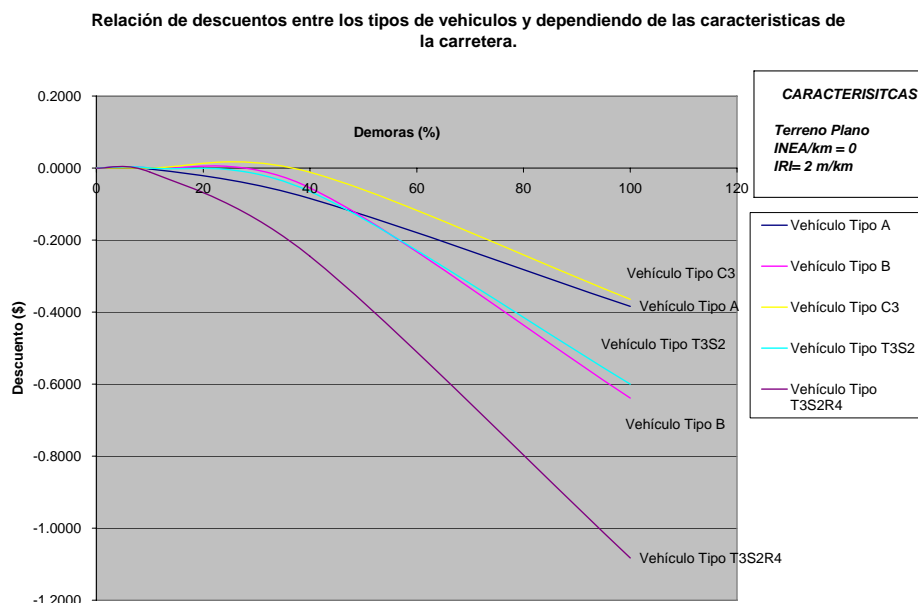


Figura 2.1
 Disminución del peaje por efecto de demoras, en terreno plano;
 incremento en el índice de accidentes = 0 e IRI = 0

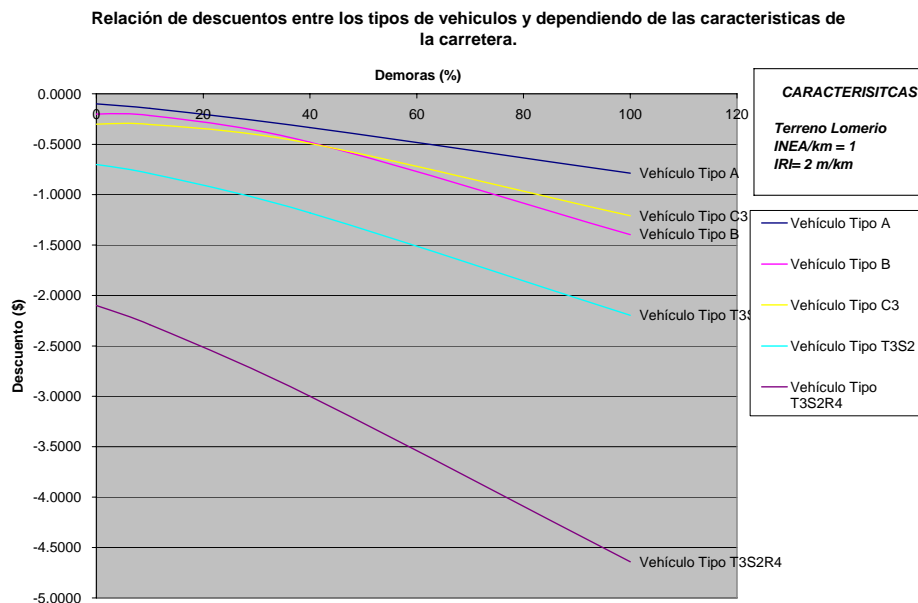


Figura 2.2
 Disminución del peaje por efecto de demoras, en terreno lomerío;
 incremento en el índice de accidentes = 1 e IRI = 2

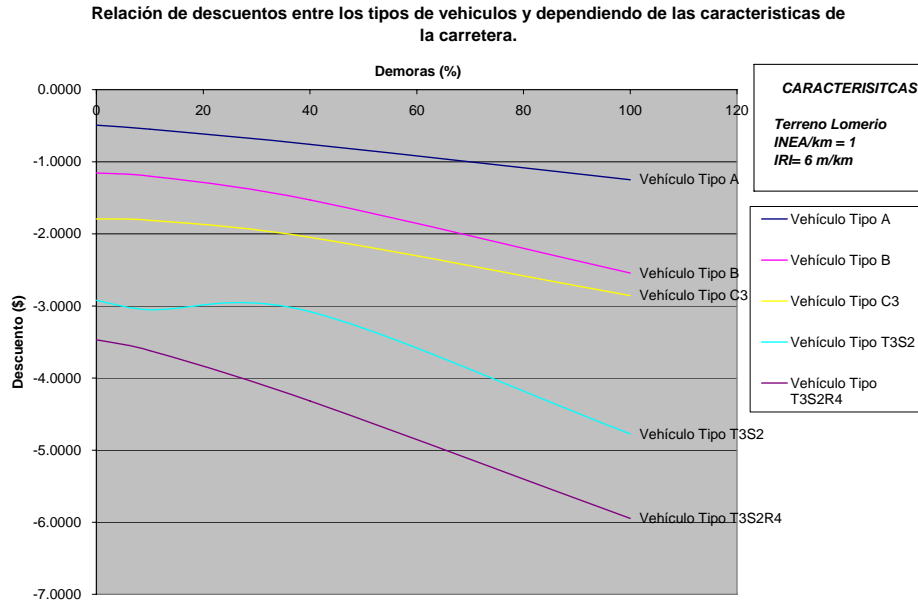


Figura 2.3
Disminución del peaje por efecto de demoras, en terreno lomerío;
incremento en el índice de accidentes = 1 e IRI = 6

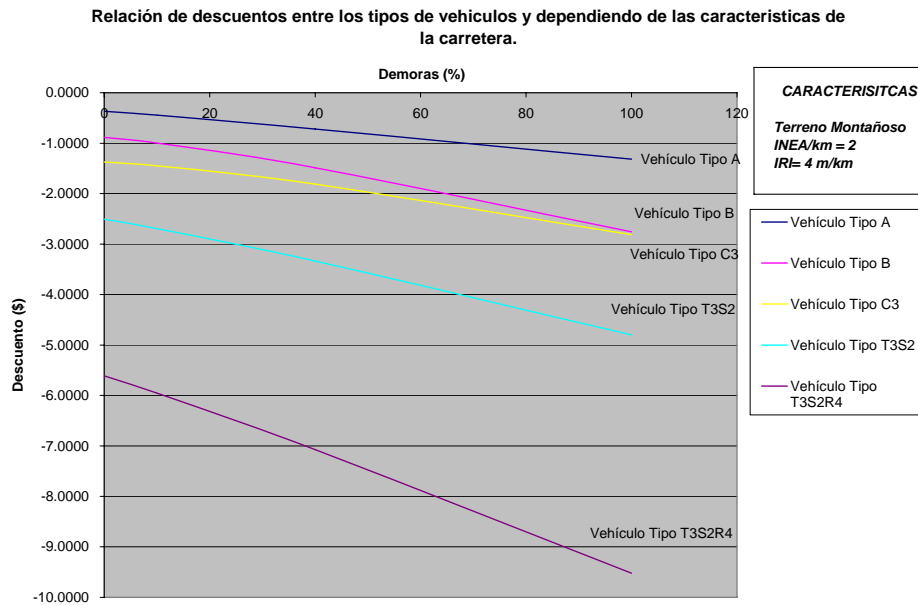


Figura 2.4
Disminución del peaje por efecto de demoras, en terreno montañoso;
incremento en el índice de accidentes = 2 e IRI = 4

3 Un ejemplo de aplicación

Este capítulo ilustra la aplicación de la metodología propuesta y descrita en capítulos anteriores, al caso específico de la autopista de cuota México-Querétaro.

3.1 Antecedentes del tramo

El tramo de cuota de la autopista México-Querétaro se encuentra comprendido entre los km 43+000 (Tepetzotlán) y 148+000 (Palmillas) de la carretera México-Querétaro, presentando 105km de longitud (ref 6).

Desde su construcción (década de los 50's) hasta la fecha, su sección estructural ha sufrido varias modificaciones. Inicialmente fue de un carril por sentido. Posteriormente (1968), mediante la construcción de un cuerpo adicional, pasó a ser una carretera dividida de dos carriles por sentido (con carriles de 3,65m y acotamientos de 2,5m de ancho. Finalmente, en la década de los 80's sufrió la última modificación importante, al convertirse en una ruta de tres carriles por sentido, sufriendo algunas modificaciones menores en el transcurso de los años hasta la fecha (ref 7).

Esta autopista forma parte de los principales corredores del país; (Mexico-Nuevo Laredo; México-Piedras Negras; México-Ciudad Juárez; y México-Tijuana); es la carretera de mayor relevancia económica en México. Presenta una afluencia vehicular variada, con la participación de automotores ligeros y una gran cantidad de autobuses y unidades de carga.

El tramo carretero de cuota México-Querétaro es uno de los más transitados a nivel nacional. La tabla 3.1 muestra el TDPA y la composición vehicular en ambos sentidos, para los siguientes tres puntos del tramo: caseta de Tepetzotlán (43+000); caseta de Palmillas (148+000); y entronque izquierdo (T IZQ) Polotitlán (133+000).

Tabla 3.1
TDPA y composición vehicular en ambos sentidos, en tres sitios de la autopista México-Querétaro

Tramo	TDPA	Distribución vehicular %								
		A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	Otros	Suma
Polotitlán	33,806	66.8	7.7	7.0	5.7	5.1	4.2	3.1	0.4	100.0
Caseta Palmillas	33,110	57.0	4.4	7.8	8.8	15.3	2.0	3.5	1.2	100.0
Caseta Tepetzotlán	47,797	62.6	5.0	8.2	6.8	11.6	1.6	2.6	1.6	100.0

Fuente: Elaboración personal a partir de los datos viales proporcionados por la SCT

La carretera en estudio se encuentra en su mayor parte en terreno lomerío suave o fuerte, con algunos subtramos en terreno plano.

Actualmente se realizan actividades de conservación y reconstrucción en los segmentos, entre los cadenamientos de uno y otro cuerpo indicados en la tabla 3.2.

En algunos casos marcados en las tablas anteriores, el tránsito del cuerpo cerrado es inducido al otro cuerpo, teniéndose en éste el flujo de ambos sentidos; en otros casos también mencionados en las tablas anteriores, sólo se presenta el cierre de un carril para alguno de los dos cuerpos.

Debe señalarse que la diferencia entre los kilometrajes donde se presenta tránsito inducido al mismo cuerpo, se debe a que al momento de cambiar el flujo a uno u otro cuerpo, se presenta una mayor distancia en el tramo al cual se le desvía hacia el otro cuerpo, que en el cuerpo al cual se le asigna el tránsito.

Lo anterior genera la degradación en la calidad del servicio, que, para las tres variables consideradas en la metodología propuesta en este trabajo (demoras, accidentalidad y regularidad superficial), se cuantifica en las secciones siguientes para algunos tipos de usuarios que circulan por el tramo. El efecto de las obras que se están realizando, sobre las demoras, se determina a través de estudios de velocidad de recorrido efectuados en campo. Para las otras dos variables (accidentalidad y calidad de rodamiento), se utilizan registros históricos existentes con los que ya se cuenta en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

3.2. Valores de las variables

3.2.1 Estudios de velocidad de recorrido

Se realizaron estudios de velocidad de recorrido para la obtención de las demoras, llamada también velocidad global o de viaje. Esta velocidad se logra dividiendo la distancia recorrida, desde el principio hasta el final del viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla. En el tiempo total de recorrido se incluyen todas aquellas **demoras operacionales** por reducciones de velocidad y paradas provocadas por la vía; el tránsito; y los dispositivos de control, ajenos a la voluntad del conductor. No comprende demoras fuera de la arteria, como pueden ser las correspondientes a gasolineras, restaurantes, lugares de recreación, etc (ref 8).

Para todos los vehículos o para un grupo de ellos, la velocidad media de recorrido es la suma de sus distancias recorridas dividida entre la suma de los tiempos totales de viaje. Si todos o el grupo de automotores recorren la misma distancia, la velocidad media de desplazamiento se obtiene dividiendo la distancia recorrida entre el promedio de los tiempos de recorrido. Así, puede verse que la velocidad media de traslado es una velocidad media espacial, o con base en la distancia (ref 9).

La velocidad de recorrido sirve principalmente para comparar condiciones de fluidez en ciertas rutas; ya sea una con otra, o bien en una misma ruta cuando se han realizado cambios para medir los efectos.

Tabla 3.2

Segmentos que presentan cierre de carriles o cambio de cuerpo, debido a obras en los cuerpos A y B (tramo Tepetzotlán-Palmillas)

Cuerpo	Sentido	Segmento reparación	Ubicación	Tipo de afectación
A	México-Querétaro	1	km 92+000 al km 93+000	Cierre de un carril (carril de baja velocidad)
		2	km 110+000 al km 113+000	Trafico inducido del cuerpo B; dos carriles por sentido en cuerpo A
		3	km 117+000 al km 122+000	Trafico inducido del cuerpo B; dos carriles por sentido en cuerpo A
		4	km 125+000 al km 132+500	Trafico inducido del cuerpo B; dos carriles por sentido en cuerpo A
B	Querétaro-México	1	km 132+600 al km 125+200	Cambio de cuerpo (Cuerpo A), reducción a dos carriles (1 cuerpo, 2 sentidos)
		2	km 124+000 al km 122+300	Cierre de un carril (carril de baja velocidad)
		3	km 122+300 al km 118+300	Cambio de cuerpo (Cuerpo A), reducción a dos carriles (un cuerpo, dos sentidos)
		4	km 113+300 al km 110+000	Cierre de un carril (carril de alta velocidad)
		5	km 75+000 al km 74+000	Cierre de un carril (carril de baja velocidad)

Un ejemplo de aplicación

El sistema de estudio aplicado para la obtención de la velocidad de recorrido abarca los siguientes puntos:

- ✓ Se utilizó el método del vehículo de prueba, en el cual la ubicación y duración de cada demora se registró y cronometró. Naturalmente, para determinar la velocidad de recorrido es necesario tener los tiempos de recorrido, los que a su vez están asociados con las demoras.
- ✓ Para determinar las demoras debido a obras de conservación, se realizaron recorridos para tomar los tiempos de recorrido de los diferentes vehículos considerados en este estudio (vehículo de prueba), para así con esto obtener sus respectivas demoras como resultado de dichas obras. Los tramos se recorrieron en ambos sentidos, tomándose nota y fotografías de las deficiencias geométricas u operativas relevantes que pudieron observarse. Asimismo, se tomó nota cuidadosamente de la ubicación (kilometraje) de los sitios para los cuales se hicieron anotaciones.
- ✓ Dentro de los propósitos del estudio de tiempos de recorridos y demoras, está evaluar la calidad del movimiento vehicular a lo largo de una ruta, y determinar la ubicación, tipo y magnitud de las demoras del tránsito.
- ✓ Los estudios de tiempo de recorrido no aíslan los problemas de los puntos de congestión. El conocimiento de la zona permite que el individuo sea capaz de determinarlos por separado.
- ✓ Se efectuaron cinco recorridos de la caseta de Palmillas a la de Tepetzotlán, para el vehículo tipo T3-S2-R4. Antes del cierre de carriles por la realización de obras de conservación. Aplicando el método del vehículo de prueba, al ir siguiendo un vehículo del tipo antes mencionado, se fue registrando el tiempo de cruce por cada hito kilométrico (donde, en esta autopista, existe un hito por cada kilómetro de recorrido). El promedio del tiempo de cruce por cada hito para los cinco recorridos realizados, proporciona el registro secuencial de tiempos promedio de cruce de los hitos, antes del cierre de carriles.
- ✓ Se repitió lo anterior después de haberse efectuado el cierre de carriles en los segmentos del cuerpo B indicados en la Tabla 3.2, obteniéndose el registro secuencial de tiempos promedio de cruce de los hitos después del cierre de carriles.

La demora en el recorrido unitario (por kilómetro) entre hitos puede calcularse a través de la siguiente expresión:

$$\text{Demora en tiempo} = (t_{i+1} - t_i)_D - (t_{i+1} - t_i)_A \quad (3.1)$$

donde:

$(t_{i+1} - t_i)_D$ = es, para la situación después del cierre de carriles, la diferencia del tiempo promedio de cruce del hito $i + 1$, menos el tiempo promedio de cruce del hito i , o sea el tiempo promedio de recorrido entre el hito i y el que le sigue $i + 1$, después del cierre de carriles

$(t_{i+1}-t_i)_A$ = es, para la situación antes del cierre de carriles, la diferencia del tiempo promedio de cruce del hito $i+1$, menos el tiempo promedio de cruce del hito i , o sea el tiempo promedio de recorrido entre el hito i y el que le sigue $i+1$, antes del cierre de carriles

t_0 = tiempo de recorrido a través del tramo, bajo condiciones normales de operación (en ausencia de la circunstancia que genera la demora)

Como resultado de los recorridos realizados de la Caseta de Palmillas a la de Tepetzotlán siguiendo vehículos tipo T3-S2-R4, para la situación actual (con las obras ya mencionadas), se obtuvo un tiempo promedio de recorrido de 5,262.43 seg, para un tramo de 103km (del 146+000 al 43+000). Las cifras anteriores dan una velocidad promedio de 70.5km/h.

Asimismo, para la situación antes de las obras mencionadas, se cuenta con el registro de un tiempo promedio de recorrido de 5,152.76 seg para el tramo de 103 kilómetros. Estas cifras dan una velocidad promedio de 72.0 km/h.

Por otra parte, aplicando la ec 4.1 al registro de los tiempos en los hitos para los recorridos efectuados para la situación actual en comparación con la que había antes de las obras, se registró una demora promedio de 109.67 seg para el tramo de 103 km. La cifra anterior corresponde a una demora de 2.13% en relación con el tiempo de recorrido de 5,152.76 segundos para el tramo de 103 km para la situación antes de las obras.

Aplicando el mismo procedimiento para los recorridos de la caseta de Tepetzotlán a la de Palmillas siguiendo vehículos tipo B3, se obtuvo un tiempo de recorrido de 3,950 segundos para la situación previa a las obras, para el tramo de 98 km entre los km 143+000 y 45+000. Esta situación corresponde a una velocidad promedio de 89.3 km/h.

Para la situación actual, el tiempo promedio de recorrido registrado es de 4,094.56 seg. Esta cifra corresponde a una velocidad promedio de 86.2 km/h.

Para este caso, se obtiene una demora promedio de 143.94 seg para la situación actual en comparación con la situación que había antes de las obras, la cual corresponde a un 3.64% de demora promedio.

3.2.2 Registros históricos de accidentalidad

Para el 2006 se registró un índice de número de accidentes equivalentes (NAE) por millón de vehículos-kilómetro recorridos para el tramo de la caseta de Palmillas a la de Tepetzotlán igual a 2.593. Para la situación antes de las obras (2000), este índice era del orden de 1.652, obteniéndose un incremento por efecto de la obras, $\Delta I_{NAE/K}$, de 0.941 (ref 10).

Para ese mismo año, el NAE por millón de vehículos-kilómetro recorridos resultó igual a 2.447 para el tramo entre la caseta de Tepetzotlán y la de Palmillas. Para la situación a la que precedió a las obras, este índice era del orden de 1.602, obteniéndose un incremento por efecto de la obras, $\Delta I_{NAE/K}$, de 0.845 (ref 10).

3.2.3 Registros históricos de regularidad superficial

Para el año 2006, en el tramo de la caseta de Palmillas a la de Tepetzotlán se registró un *IRI* promedio de 3.03 (ref 3.6).

Para el tramo de la caseta de Tepetzotlán a la de Palmillas, en ese mismo año (2006) se registró un *IRI* promedio de 2.36 (ref 11).

3.3 Tarifas ajustadas

Para el recorrido del T3-S2-R4 del tramo de la caseta de Palmillas a la de Tepetzotlán, en el que el tipo de terreno es primordialmente en lomerío, a partir de la tabla 2.8 en el capítulo 2, y mediante un proceso de interpolación que se ilustra en detalle en la tabla 3.4, se obtiene un descuento total de -2.718 pesos/km. Este valor representa 41.3% de la tarifa que se cobra actualmente a esa configuración (6.579 pesos/km).

Si el descuento anterior se resta de la tarifa actual, se obtiene una tarifa final descontada de 3.861 pesos por kilómetro. Esto significa que dadas las mejorables condiciones actuales, habría que cobrar a esa configuración una tarifa total de 413 pesos por el tramo total entre las casetas, en vez de los 704 pesos que se cobran actualmente.

A su vez, para el recorrido del autobús de tres ejes (B3) de la caseta de Tepetzotlán a la de Palmillas, en el que el tipo de terreno es en lomerío, a partir de la tabla 2.5 en el capítulo 2, y mediante un proceso de interpolación que se ilustra detalladamente en la tabla 3.5, se logra un descuento total de -0.257 pesos/km. Este valor representa 10.8% de la tarifa que se cobra actualmente a esa configuración (2.374 pesos/km).

Si el descuento anterior se resta de la tarifa actual, se obtiene una tarifa final descontada de 2.117 pesos por kilómetro. Esto significa que dadas las mejorables condiciones actuales, habría que cobrar a esa configuración una tarifa total de 226.5 pesos por el tramo total entre las casetas, en vez de los 254 pesos actualmente.

A continuación se presentan las tablas 3.3 y 3.4, en las cuales se muestra el proceso de interpolación que se efectuó para definir el valor final de ajuste en el peaje cobrado, tanto para el vehículo tipo T3-S2-R4 (tabla 3.4), como para el de tipo B (tabla 3.5).

Se puede observar que la forma de interpolación queda ilustrada por medio de los números 1, 2 y 3 que son el orden en el cual se realizó; siendo el número 1, el primer valor obtenido de las demoras, el número 2 muestra el valor obtenido por la interpolación de los $\Delta I_{NAE/K}$, y los primeros valores obtenidos de las demoras (1), y por último los dos valores obtenidos del $\Delta I_{NAE/K}$ (2) y el *IRI*, mismos que quedaron resaltados por tres colores diferentes; gris para el número 1, amarillo para los resultados del número 2; y por último y valor final con color naranja para el número 3.

Tabla 3.3. Interpolación para la configuración T3S2R4, en el cuerpo A (tramo Tepotzotlán-Palmillas)

Vehículo T3-S2-R4											
IRI=2			IRI=3.03			IRI=4					
ΔI_{NAE}	0					ΔI_{NAE}	0				
Demoras						Demoras					
0	2.13	10				0	2.13	10			
0		-0.1904				-1.3699		-1.52			
1)	-0.04056					1)	-1.40198				
ΔI_{NAE}	0.941					ΔI_{NAE}	0.941				
Demoras						Demoras					
0	2.13	10				0	2.13	10			
2)	-2.01666			-2.71779		2)	-3.37808				
ΔI_{NAE}	1					ΔI_{NAE}	1				
Demoras						Demoras					
0	2.13	10				0	2.13	10			
-2.1		-2.2904				-3.4699		-3.62			
1)	-2.14056					1)	-3.50198				

Tabla 3.4. Interpolación para la configuración B, en el cuerpo B (tramo Palmillas- Tepotzotlán)

Vehículo B											
IRI=2			IRI=2.36			IRI=4					
ΔI_{NAE}	0					ΔI_{NAE}	0				
Demoras						Demoras					
0	3.64	10				0	3.64	10			
0		-0.0157				-0.4537		-0.47			
1)	-0.00571					1)	-0.46123				
ΔI_{NAE}	0.845					ΔI_{NAE}	0.845				
Demoras						Demoras					
0	3.64	10				0	3.64	10			
2)	-0.17471			3) -0.25671		2)	-0.63023				
ΔI_{NAE}	1					ΔI_{NAE}	1				
Demoras						Demoras					
0	3.64	10				0	3.64	10			
-0.2		-0.2157				-0.6537		-0.67			
1)	-0.20571					1)	-0.66123				

4 Conclusiones y recomendaciones

Las autopistas y las vías rápidas son las carreteras construidas con el mayor estándar geométrico.

Las autopistas se diseñan para permitir el flujo de grandes volúmenes a grandes distancias y a altas velocidades, con el menor número de accidentes y para evitar los conflictos entre el tránsito de larga distancia y el local. Se construyen sin acceso directo a las propiedades aledañas, y con entradas y salidas en intersecciones a desnivel. Sólo se permiten en ellas vehículos que pueden viajar por encima de una velocidad mínima (p ej 40 km/h), no se permiten tractores, ni motociclistas, ni peatones, ni ciclistas. Tienen cuando menos dos carriles por sentido, con acotamientos a cada lado conforme al sentido. El ancho de los carriles y acotamientos es el más adecuado. Los flujos de cada sentido están divididos por una faja separadora central. No tienen intersecciones a nivel con otras carreteras. Sus zonas laterales son benignas.

Por su parte, vías rápidas tienen cuando menos un carril en cada sentido, carecen de faja separadora central entre los dos sentidos, y pueden tener intersecciones a nivel de alta calidad con otras carreteras.

Las autopistas tienen índices de accidentes que son entre 70 y 90% menores que para otras carreteras; en tanto que las vías rápidas entre 40 y 80% menores.

Por el lado de la oferta de infraestructura, el servicio proporcionado en forma de una autopista o una vía rápida requiere una serie de costos, dentro de los que se cuentan el del capital invertido en la construcción de la misma (costos de obra más costos financieros); los costos de conservación y mantenimiento, y los costos operativos (empleados administrativos, vehículos de apoyo, seguros, etc). Una posibilidad de proporcionar carreteras de altas especificaciones, cuyos costos son generalmente muy elevados, la constituye el cobro de peajes. A partir de éstos se cubren los costos mencionados y se genera una utilidad.

Por el lado de la demanda, tanto las autopistas como las vías rápidas son la clase de carreteras que ofrecen la mejor calidad a los usuarios, obviamente cuando encuentran en ellas sus condiciones óptimas de operación (con demoras mínimas, buen estado superficial, condiciones óptimas de seguridad vial, etc).

Para las condiciones óptimas, la cantidad de usuarios que utilizan una carretera de cuota corresponde a aquéllos que están dispuestos a pagar el peaje que se les cobra por el servicio ofrecido. Por otra parte, si alguno o algunos de los elementos de calidad del servicio se deterioran, y el peaje que paga el usuario no se modifica, la reacción lógica será la inconformidad. Ésta tiende eventualmente a manifestarse en quejas y peticiones de reducción de los peajes, de acuerdo con la calidad recibida.

Como respuesta al mecanismo anterior, ha surgido el interés tanto en México como en otros países en los que se operan carreteras de peaje, por generar procedimientos de ajuste a los aranceles, de acuerdo con la calidad de la infraestructura. Este trabajo es un esfuerzo en ese sentido.

El principio en el que se basa el ajuste planteado es el de reducirle al usuario en el

peaje, el sobrecosto operativo que resulta de demoras por obras u otras causas (accidentes, derrumbes, etc), incremento del riesgo y calidad superficial por debajo de un cierto nivel ideal ($IRI = 2$). El procedimiento propuesto es sensible al tipo de vehículo. Los desarrollos presentados evidencian que es posible implementar, con resultados prácticos y adecuados, un mecanismo de ajuste como el que se propone.

Al aplicar la metodología al caso de la autopista México-Querétaro resulta una reducción del peaje de 41.3% para tractocamiones T3S2R4 y de 10.8% para autobuses B2. Lo anterior derivado de las obras en la autopista.

Con este trabajo se proporciona a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes una propuesta metodológica de ajuste a las cuotas cobradas en las carreteras de peaje, en función de su estado superficial, demoras e índices de accidentalidad. La aplicación de los resultados del trabajo resultará en esquemas tarifarios más justos y equitativos para los usuarios.

Referencias y bibliografía

Referencias

1. Institute of Transportation Engineers. Highway Capacity Manual, Actualization 2000. National Research Council. Washington, DC (2000)
2. Caminos y Puentes de Ingresos y Servicios Conexos e Instituto Mexicano del Transporte. Marco teórico para identificar sitios de alta incidencia de accidentes en la red propia de CAPUFE y red FARAC, síntesis (2003).
3. Arriaga Patiño Mario C, Garnica Anguas Paul. Índice internacional de rugosidad, aplicación en la Red Carretera de México. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica, No 108 (1998)
4. Arroyo Osorno José Antonio, Aguerrebere Salido Roberto. Estado superficial y costos de operación en carreteras. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica, No 202. Querétaro, Qro (2002)
5. Arroyo Osorno José Antonio, Aguerrebere Salido Roberto. Costos de operación base de los Vehículos representativos del transporte interurbano 2006. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica, No 282. Querétaro, Qro (2006)
6. Datos Viales 2006. Dirección de Servicios Técnicos; Subsecretaría de Infraestructura; Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); México, DF (2006)
7. Jesús Chavarría Vega, Alberto Mendoza Díaz y Emilio Mayoral Grajeda Algunas medidas para mejorar la seguridad vial en las carreteras nacionales. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No 89 (1994)
8. Cal y Mayor Rafael y Cárdenas G James; Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones; Cal y Mayor y Asociados, Universidad del Valle; Editorial Alfaomega, 7ª Edición. México DF (1994)
9. Asociación Mexicana de Caminos, A.C. y Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.a. Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito. Publicada por Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. México, DF (1971)
10. "Informe Anual de Accidentes en la Red Carretera Federal por Estado, 2006"; Dirección General de Servicios Técnicos; Subsecretaría de Infraestructura; Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); México DF (2007)
11. Instituto Mexicano del Transporte. Datos estadísticos de accidentalidad en autopistas nacionales. Síntesis (2002). Querétaro, Qro (2006)

Bibliografía

1. Arriaga Patiño, M C; Garnica Anguas, P; Rico Rodríguez, A. Índice internacional de rugosidad en la Red Carretera de México". Documento Técnico, No 108. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Querétaro, México (1998)

2. Arroyo Osorno, J A; Aguerrebere Salido, R. Estado superficial y costos de operación en carreteras. Documento Técnico, No 202. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Querétaro, México (2002)
3. Ginés de Rus, Campos Javier, Nombela Gustavo. Economía del Transporte. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Antoni Bosch Editor (2003)
4. Gabriela Camomilla. Performance Measurement System for High Capacity Toll Roads. World Bank Meeting. Autostrade Co, Italia (1999)
5. Subsecretaría de Ingresos, Unidad de Política de Ingresos, Dirección General Adjunta de Precios y Tarifas, Dirección de Política Tarifaria de los Sectores Eléctrico y Transporte. Metodología para incorporar un ajuste por calidad en la tarifas de peaje aplicables en la red concesionada a Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE). Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), México, DF (2007)
6. Rodrigo, S Archondo-Callao y Asif Faiz. Estimating Vehicle Operating Cost. Documento del Banco Mundial. Guía para la utilización del software The Highway Design and Maintenance Standards Study (HDM), en su aplicación: Vehicle Operating Cost (HDM-VOC), versión 4.0 (2000)



‡ Certificación ISO 9001:2000 según documento No 0109-2007-AQ-MEX-EMA,
vigente hasta el 24 de octubre de 2009 (www.imt.mx)

CIUDAD DE MÉXICO

Av Nuevo León 210, piso 2
Col Hipódromo Condesa
06100, México, D F
tel (55) 5265 3190
fax (55) 5265 3190 ext 4711

SANFANDILA

km 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro
tel (442) 216-9777
fax (442) 216-9671

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx