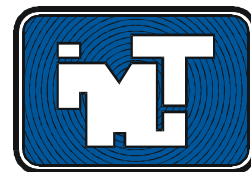




ISSN 0188-7297



---

---

# ESTADO SUPERFICIAL Y COSTOS DE OPERACIÓN EN CARRETERAS

José Antonio Arroyo Osorno  
Roberto Aguerrebere Salido

Publicación Técnica No. 202  
Sanfandila, Qro, 2002

---

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

**Estado superficial y costos de  
operación en carreteras**

**Publicación Técnica No. 202  
Sanfandila, Qro, 2002**

---



Esta edición fue elaborada por José Antonio Arroyo Osorno, investigador de la Coordinación de Integración del Transporte en el Instituto Mexicano del Transporte, con la asesoría y dirección del Ing. Roberto Aguerrebere Salido, Coordinador de Integración del Transporte. La información sobre velocidades, consumos y rendimientos de combustible (prácticos) de algunos tractocamiones, proporcionada por la maestra Mercedes Yolanda Rafael Morales, fue muy útil para la realización de este trabajo.

El presente trabajo constituye una segunda edición, ampliada y actualizada, de la Publicación Técnica Núm. 30 del mismo título, elaborada por Roberto Aguerrebere Salido y Fernando Cepeda Narváez y publicada en 1991.



# Índice.

---

	<b>Página</b>
Resumen.	III
Abstract.	V
Resumen ejecutivo.	VII
Introducción.	1
Gráficas.	3
Gráficas para diferentes tipos de terreno.	3
Indicadores del Estado Superficial.	13
Nota metodológica.	17
Datos utilizados.	26
Camión Articulado (T3-S3)	26
Camión Articulado (T3-S2)	29
Camión Articulado (T3-S2-R4)	32
Camión de Tres Ejes	35
Camión de Dos Ejes	38
Autobús Foráneo	41
Vehículo Ligero	44
Cálculo de los costos de operación base.	47
Resultados.	47
Camión Articulado (T3-S3)	48
Camión Articulado (T3-S2)	49
Camión Articulado (T3-S2-R4)	50
Camión de Tres Ejes	51

Camión de Dos Ejes	52
Autobús Foráneo	53
Vehículo Ligero	54
Ejemplo de aplicación.	57
Conclusiones y recomendaciones.	61
Bibliografía.	63
Apéndice A: Información técnica de los vehículos utilizados.	65
Apéndice B: Velocidades, consumos y rendimientos de combustible (prácticos), de algunos tractocamiones.	67
Apéndice C: Costo del flete de algunas empresas dedicadas al transporte de carga.	69

## Resumen.

---

El objetivo de este documento es aportar al Sector Transporte información y un procedimiento sencillo para la estimación de costos de operación básicos de vehículos representativos del tránsito interurbano, en función del alineamiento geométrico y del estado superficial de las carreteras.

La presente publicación toma como referencia los modelos matemáticos desarrollados por el Banco Mundial en el año de 1987, con los cuales posteriormente estructuró un programa de cómputo denominado *Vehicle Operating Costs* (VOC, por sus siglas en inglés). Asimismo, considera la adaptación de dicho programa a las características técnicas de los vehículos que operan en México hecha en el propio IMT, denominada VOCMEX, así como los modelos con nuevas expresiones desarrolladas para el HDM-4.

A partir del uso de los modelos matemáticos desarrollados por el Banco Mundial, mediante el programa de cómputo VOCMEX, y de una actualización de datos diversos sobre características técnicas de los vehículos, sus precios y los de sus insumos, se conforma un conjunto de gráficas, las cuales permiten la estimación de costos de operación vehicular para siete tipos de vehículos bajo condiciones diversas de alineamiento geométrico y estado superficial de las carreteras sin necesidad de usar el programa. Los datos presentados en este trabajo pueden ser utilizados tanto en el programa de cómputo VOC como en el HDM-4.





## **Abstract.**

---

This document has as a main objective to provide information on a simple procedure used to calculate vehicle operating costs for a typical vehicle used for commercial and private intercity transportation in Mexico. The procedure here described, takes into account the geometric alignment and pavement surface conditions and their effects on the vehicle operating costs.

The work here reported is based on the mathematical models developed by the World Bank and published in 1987, which gave origin to the software called Vehicle Operating Costs (VOC). Therefore, the software developed for this work (called VOCMEX) is an adaptation of the VOC. The VOCMEX considers the technical characteristics of the vehicles running on Mexican roadways as well as the models with the new mathematical expressions developed for the HDM-4 software.

From the use of the World Bank models through the VOCMEX and the data update about technical characteristics of the vehicles, their prices and their components, a set of graphics is built. These graphics allow one to estimate the operating costs of seven types of vehicles under various conditions of the geometric alignment and pavement surface without using the software. The data presented in this document can also be used in the VOC program and in the HDM-4.



## **Resumen ejecutivo.**

---

El presente trabajo surge como una necesidad debido a la importancia de contar con herramientas actualizadas para el cálculo de costos de operación vehicular (sus antecedentes se remiten a las Publicaciones Técnicas 20 y 30 de 1991), manifiesta por la permanente recepción de solicitudes al respecto por parte de empresas de consultoría y gobiernos estatales, así como de la SCT.

Se presentan datos sobre las características de la carretera (Tipo de Superficie, Índice Internacional de Rugosidad, Pendiente, etc.), del vehículo (Peso, Carga Útil, Potencia, Velocidad, Área Frontal Proyectada, Número de Kilómetros Conducidos por Año, Vida Útil Promedio de Servicio, Costos Unitarios, etc.) y de los neumáticos (Número de Llantas por Vehículo, Costo de la Llanta Nueva, Costo del Renovado de la Llanta, etc.) para siete tipos de vehículos, y se calculan los respectivos costos de operación para condiciones ideales.

Se muestra un conjunto de gráficas que tratan del efecto del deterioro de los caminos pavimentados en los costos de operación de los vehículos que, mayoritariamente, representan el tránsito en las carreteras nacionales.

Se proporcionan los Factores del Costo de Operación Base de los vehículos, que pueden ser valuados en unidades monetarias, conocidos los precios unitarios de los diferentes insumos. Con ello pueden actualizarse los valores reales expresados en las gráficas.

Las gráficas relacionan, para los siete tipos de vehículos y tres tipos de terreno, la rugosidad y el índice de servicio con el costo de operación. Este se considera como 1 en un tramo recto de pendiente 0% y pavimento nuevo (Índice Internacional de Rugosidad = 1-2 m/km, Índice de Servicio = 4.5-5), de manera que los costos correspondientes a otras condiciones de rugosidad y de alineamiento horizontal y vertical se expresan como un factor siempre mayor que 1; de esta forma ha tratado de eliminarse la referencia a un precio variable. Con fines ilustrativos se incluyó también la relación entre velocidad típica de operación y rugosidad o Índice de Servicio.

Se utilizaron nuevas expresiones matemáticas para los datos referentes a la Potencia Máxima en Operación y la Potencia Máxima del Freno de los vehículos, derivadas de la revisión del material bibliográfico reciente del modelo HDM (The Highway Design and Maintenance Standards Model) en su versión 4, ya que éstas ofrecieron resultados más acordes con lo observado en la práctica.

Se ofrecen también los datos de salida del programa, como son: consumos por cada 1,000 vehículo-km, costos unitarios y costo de operación por vehículo-km.

Asimismo, se desarrolla un ejemplo ilustrativo con el objeto de mostrar la influencia del costo de operación, condicionado por los alineamientos y la

rugosidad, en los costos de conservación durante la vida útil de una carretera.

Se proporcionan las conclusiones y recomendaciones de este trabajo, así como la bibliografía utilizada.

Finalmente, el trabajo se complementa con tres apéndices:

En el Apéndice A se presenta la información técnica de cada uno de los vehículos utilizados en este estudio.

En el Apéndice B se muestra información de campo sobre velocidades, consumos y rendimientos de combustible de algunos tractocamiones, que permiten validar los resultados intermedios obtenidos por el modelo.

En el Apéndice C se ofrece información referente al costo de fletes para algunos trayectos de empresas dedicadas al transporte de carga, la cual se utilizó para validar los resultados finales obtenidos.

# Introducción.

---

La Coordinación de Integración del Transporte decidió actualizar la Publicación Técnica No. 30 del IMT "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras" debido a la importancia de contar con información reciente sobre el tema y a la importante solicitud de información por parte de instituciones externas y gobiernos estatales, así como de la SCT. Este proyecto toma como referencia los modelos matemáticos desarrollados por el Banco Mundial en el año de 1987 y con los cuales posteriormente estructuró un programa de cómputo denominado Costos de Operación Vehicular, (VOC) por sus siglas en inglés, el cual se usará como herramienta principal para la actualización.

El desarrollo de este trabajo se fundamenta en la adaptación de los modelos del Banco Mundial al caso de México. Se adecuaron al modelo VOC (Vehicle Operating Costs) expresiones nuevas para la Potencia Máxima en Operación y Potencia Máxima al Freno sugeridas en el documento: Bennett, C. R. and Paterson, William D. O., Documentation of HDM-4, Version 1.0, International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM), United Kingdom, 2000, y se modificó el valor para el Factor de Eficiencia Energética, aprovechando el rango sugerido en: Watanatada, T., Dhareshwar, A. M. and Rezende Lima, P. R., Vehicle Speeds and Operating Costs, Models for Road Planning and Management, The World Bank, 1987. El resto de los datos fueron actualizados al año 2001.

Es importante recordar que el Estudio de Normas para el Diseño y Mantenimiento de Carreteras se desarrolló bajo el auspicio del Banco Mundial, en él participaron instituciones académicas y dependencias involucradas en la planeación, construcción y operación de carreteras en diversos países. Las relaciones entre costos de operación y características de carreteras, incluida la rugosidad, fueron estudiadas en Kenia (1971-75), Brasil (1975-84), Santa Lucía (1977-82) e India (1977-83).

Revisando los estudios de los cuatro países mencionados, se concluyó que los de Brasil presentaron no sólo mayor cobertura y semejanza en cuanto a tipos de vehículos y características de caminos, sino también mayor similitud económica con relación a las condiciones prevalecientes en México durante el periodo de estudio. Por lo anterior, se decidió utilizar su metodología e información pertinente para aplicarla con datos nacionales, usando el programa de cómputo basado en los propios estudios de Brasil, como herramienta principal para la adaptación.

La adecuación consistió en el uso de datos sobre características técnicas de vehículos nacionales, así como costos unitarios de sus insumos. También se definieron, con base en análisis de sensibilidad en rangos de factibilidad y auscultaciones de campo, datos necesarios relativos a la utilización de los vehículos.



# Gráficas.

---

## Gráficas para diferentes tipos de terreno.

En este apartado se presentan dos gráficas para cada uno de los siete vehículos seleccionados: dos camiones articulados con semirremolque, un camión articulado con semirremolque y remolque, un camión pesado de tres ejes, un camión mediano de dos ejes, un autobús foráneo y un vehículo ligero.

Las gráficas del primer tipo, en la parte superior de las figuras, muestran la relación entre el estado de la superficie de rodamiento, en términos del Índice de Servicio y el Índice Internacional de Rugosidad y el costo de operación del vehículo como un factor de su costo de operación base, para tres tipos de terreno; sensiblemente plano (ligeras pendientes y curvas suaves), de lomerío y montañoso. Se incluye como referencia el caso base, correspondiente a un camino recto y plano, con pavimento nuevo.

Las gráficas del segundo tipo relacionan, para los tres tipos de terreno mencionados, el estado de la superficie de rodamiento en términos del Índice de Servicio y del Índice Internacional de Rugosidad, con la velocidad de operación típica (correspondiente a una velocidad 'de crucero' sobre un camino de un solo carril en cada sentido, sin acotamientos).

Debido a la poca influencia de rugosidades por debajo de un Índice Internacional de Rugosidad de 2m/km (o por arriba de un Índice de Servicio de 4.3), tanto en los costos como en las velocidades, dicho rango no se incluyó en las gráficas.

En ambas gráficas, las pendientes y curvaturas horizontales que corresponden a cada tipo de terreno son de 1% y 100°/km respectivamente, para el caso plano; de 3% y de 300°/km, para terreno de lomerío y de 5% y 700°/km, para terreno montañoso. Al caso base le corresponden pendientes y curvaturas nulas.

El concepto de curvatura manejado corresponde a una curvatura media en un tramo representativo, que se calcula como la suma de los ángulos de deflexión en valor absoluto (o ángulos centrales de las curvas), dividida entre la longitud del tramo y se expresa en grados por kilómetro. La figura 4 muestra el plano horizontal de tres tramos considerados homogéneos con sus respectivas características geométricas, para diferentes niveles de curvatura media acumulada.

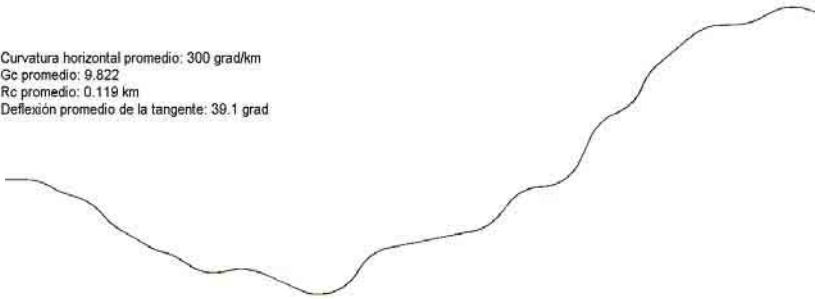


Fig. 4  
 ASPECTO DE TRES TRAMOS HOMOGÉNEOS CON DIFERENTES NIVELES DE CURVATURA ACUMULADA.

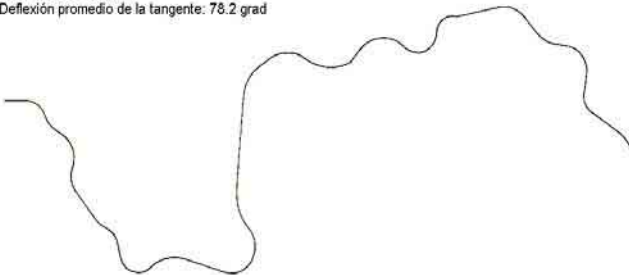
Curvatura horizontal promedio: 100 grad/km  
 Gc promedio: 2.624  
 Rc promedio: 0.520 km  
 Deflexión promedio de la tangente: 22.2 grad



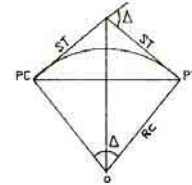
Curvatura horizontal promedio: 300 grad/km  
 Gc promedio: 9.822  
 Rc promedio: 0.119 km  
 Deflexión promedio de la tangente: 39.1 grad



Curvatura horizontal promedio: 600 grad/km  
 Gc promedio: 20.049  
 Rc promedio: 0.061 km  
 Deflexión promedio de la tangente: 78.2 grad



Curva circular simple



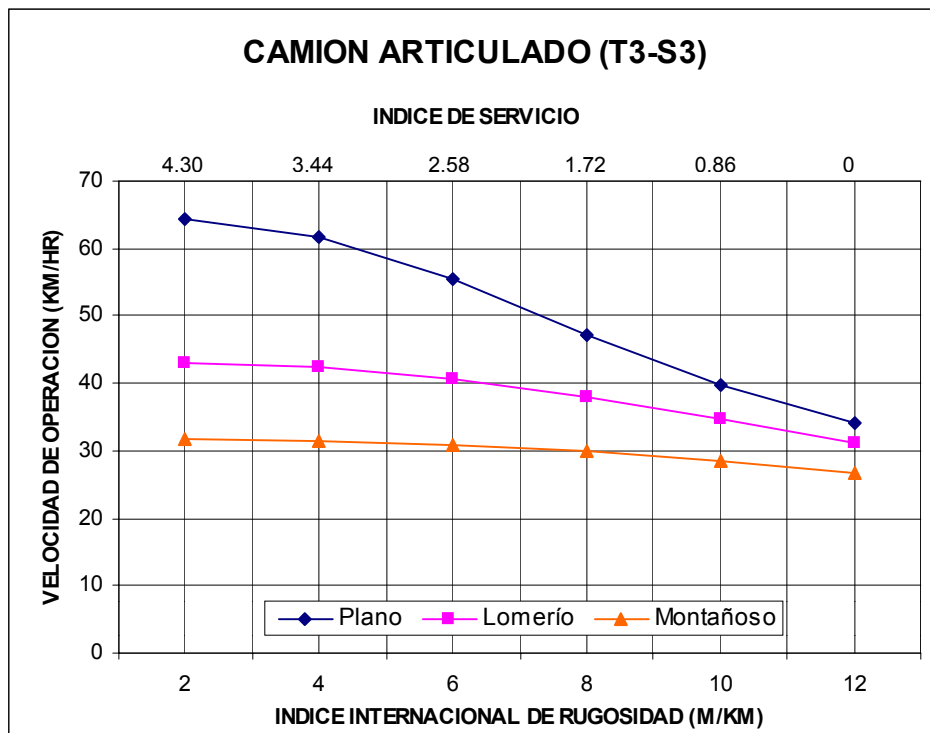
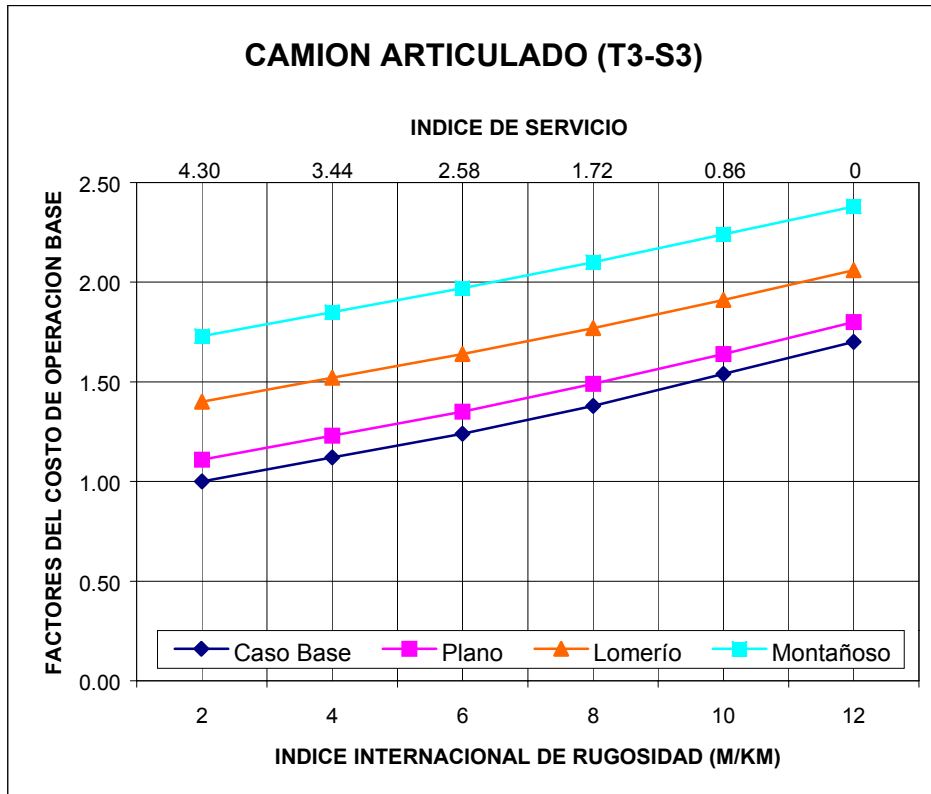
$$C = \frac{\sum \frac{\Delta_i}{L_t}}{L_t}$$

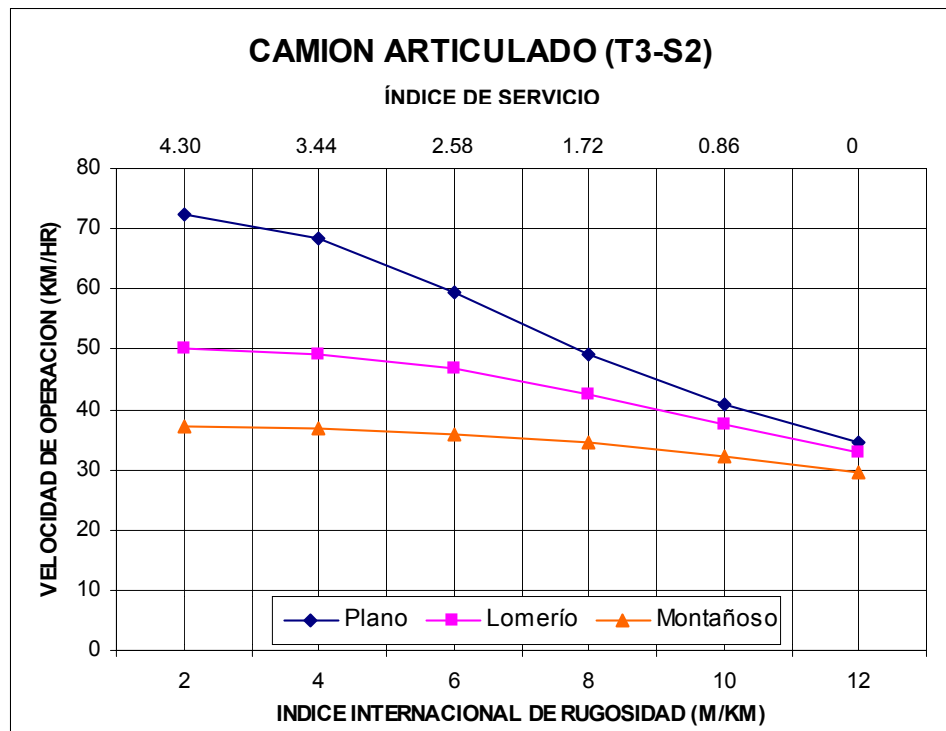
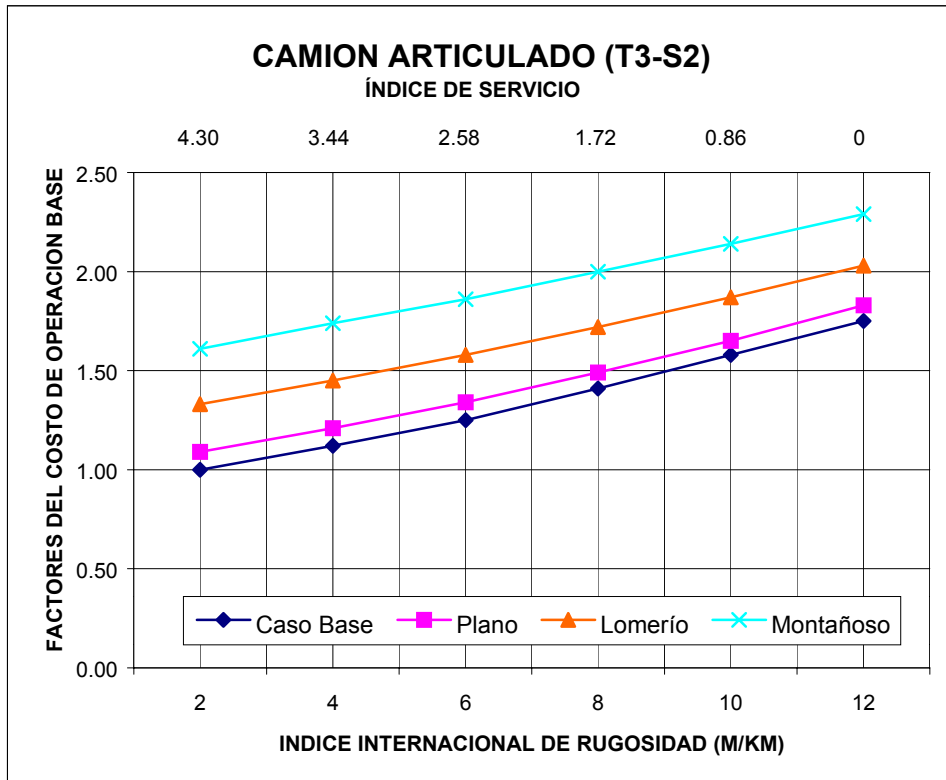
$$C = \frac{\sum \frac{L_c \cdot G_c}{0.02}}{L_t}$$

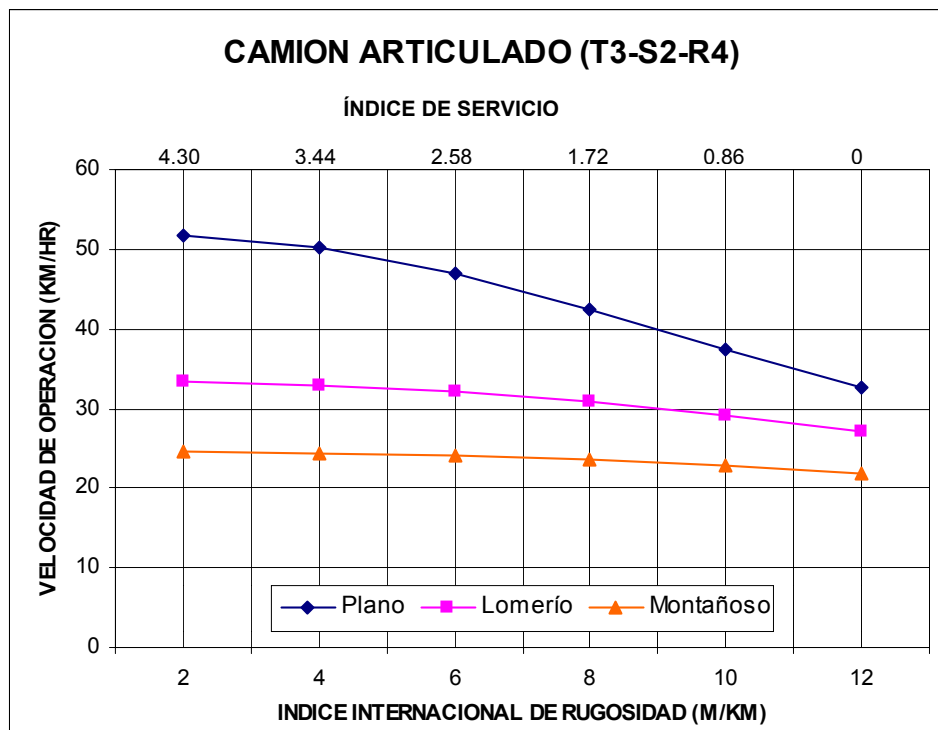
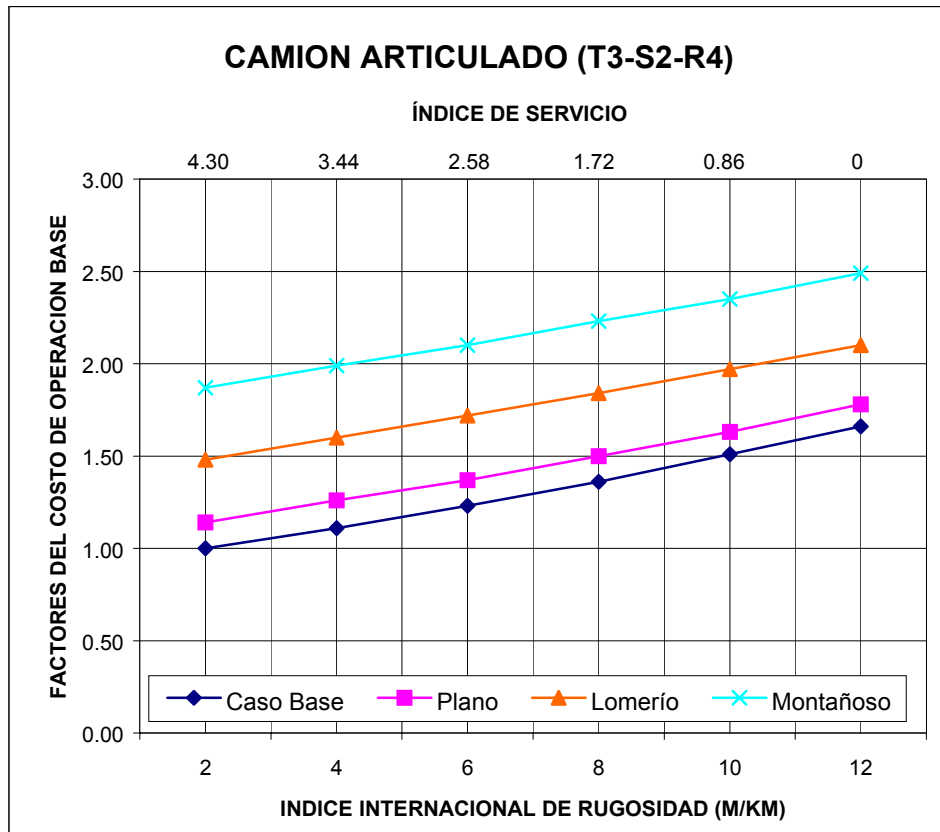
$$C = \frac{360}{2 \pi L_t} \sum \frac{L_c}{R_c}$$

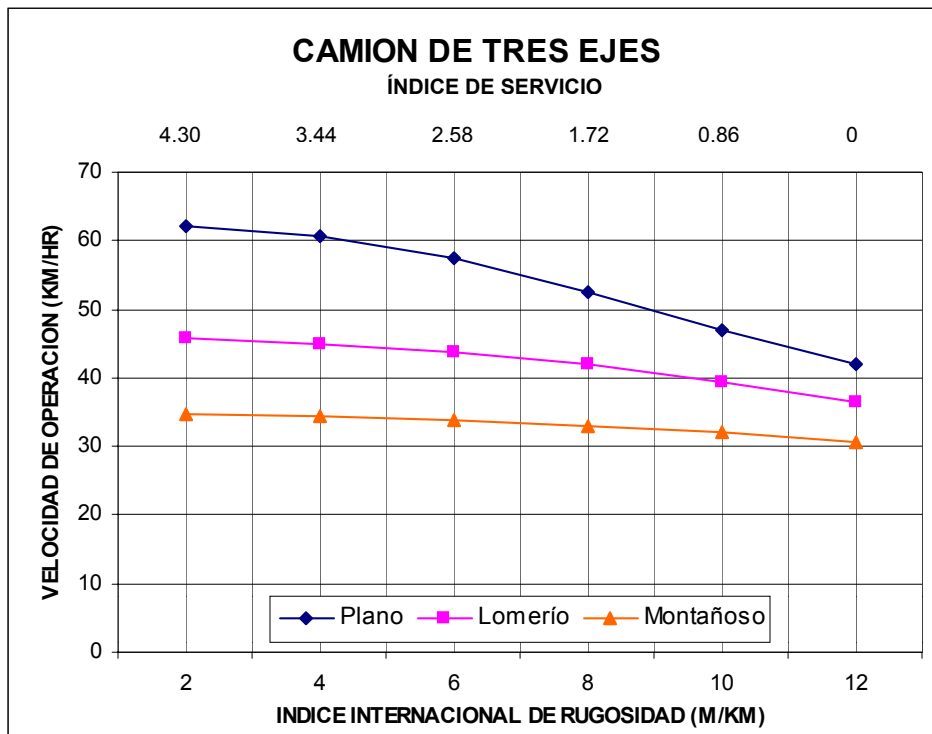
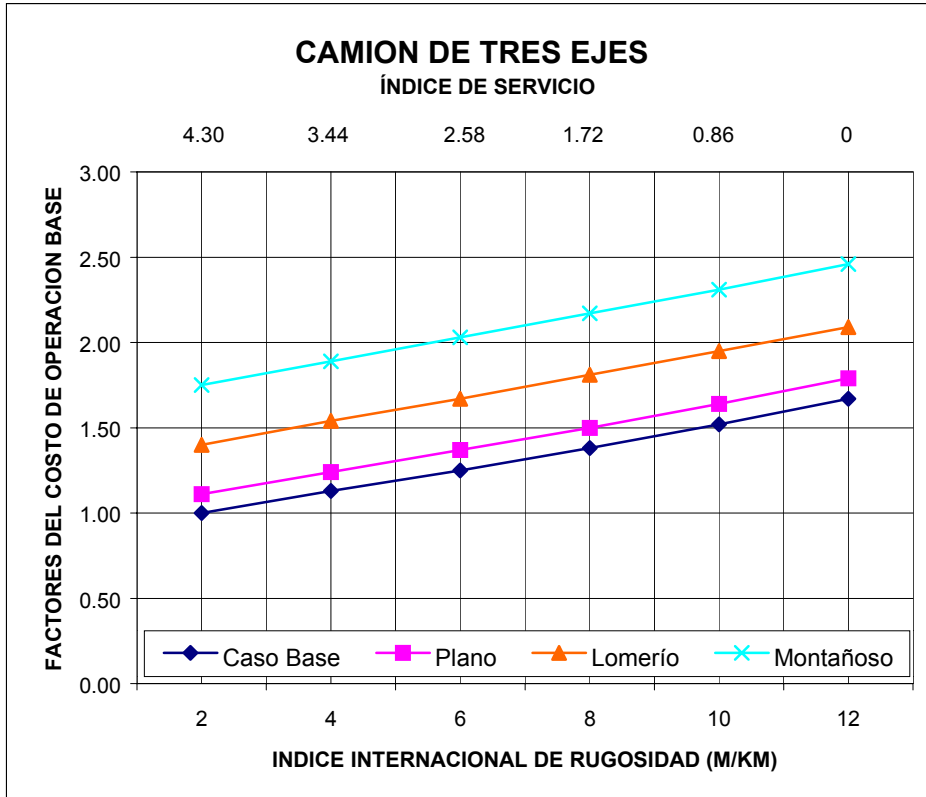
- Gc: Grado de curvatura
- Rc: Radio de la curva circular
- Lc: Longitud de la curva circular
- Lt: Longitud total del tramo
- C: Curvatura horizontal promedio
- Δ: Ángulo de deflexión de la tangente
- PC: Punto de comienzo de la curva
- PT: Punto de terminación de la curva
- ST: Subtangente

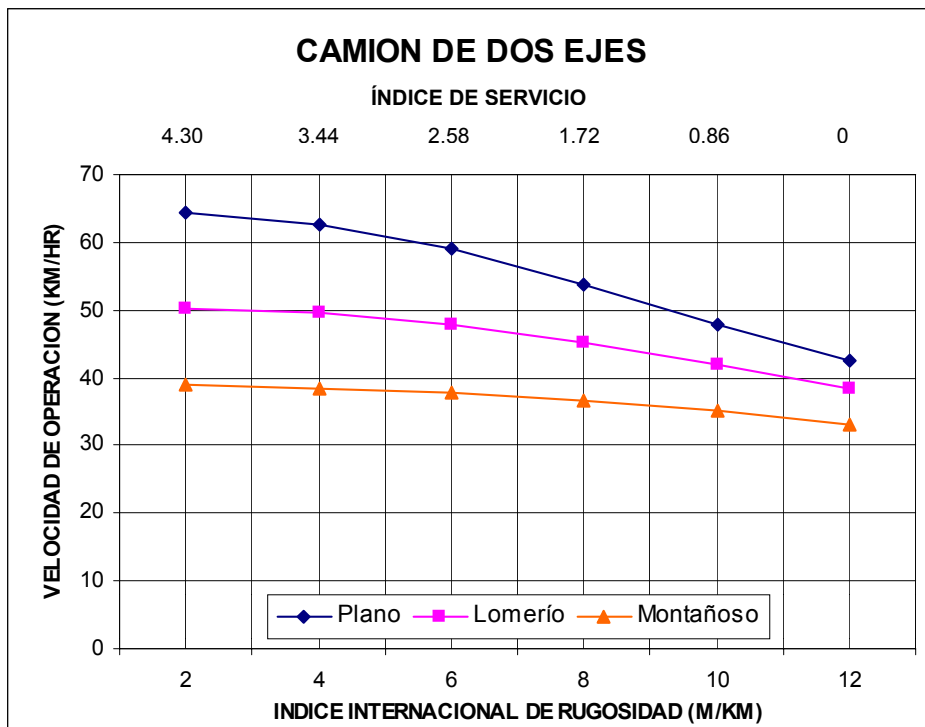
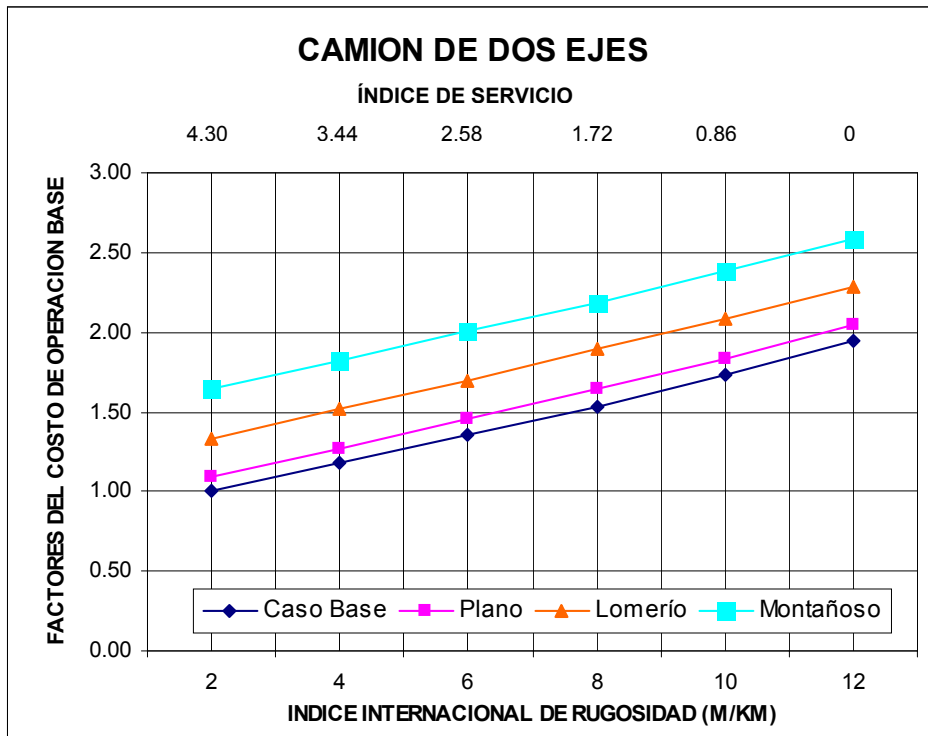
Escala:  
  
 100 m

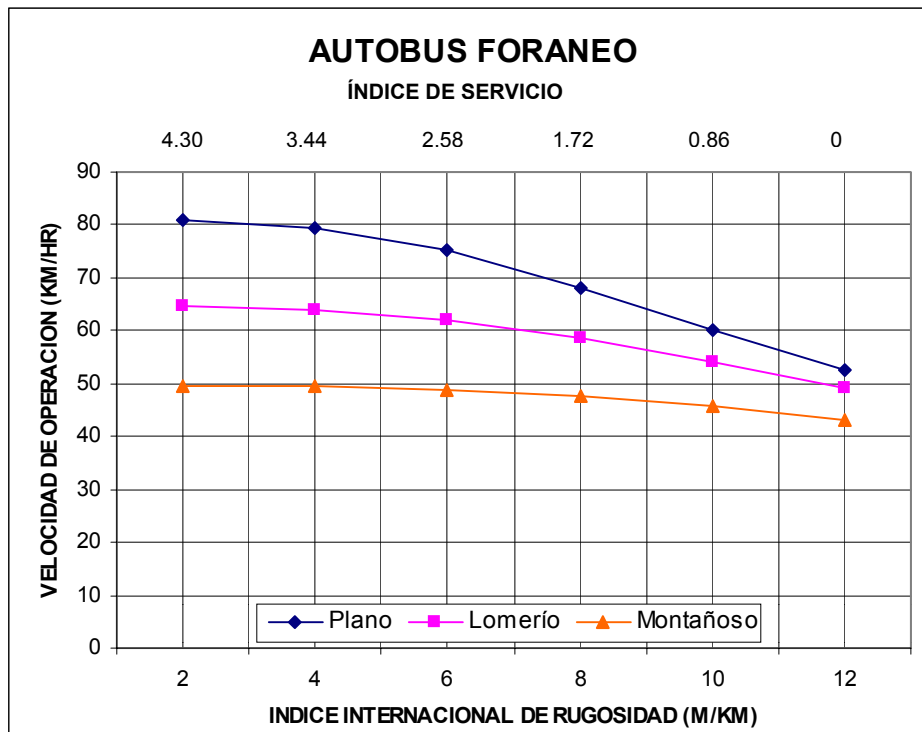
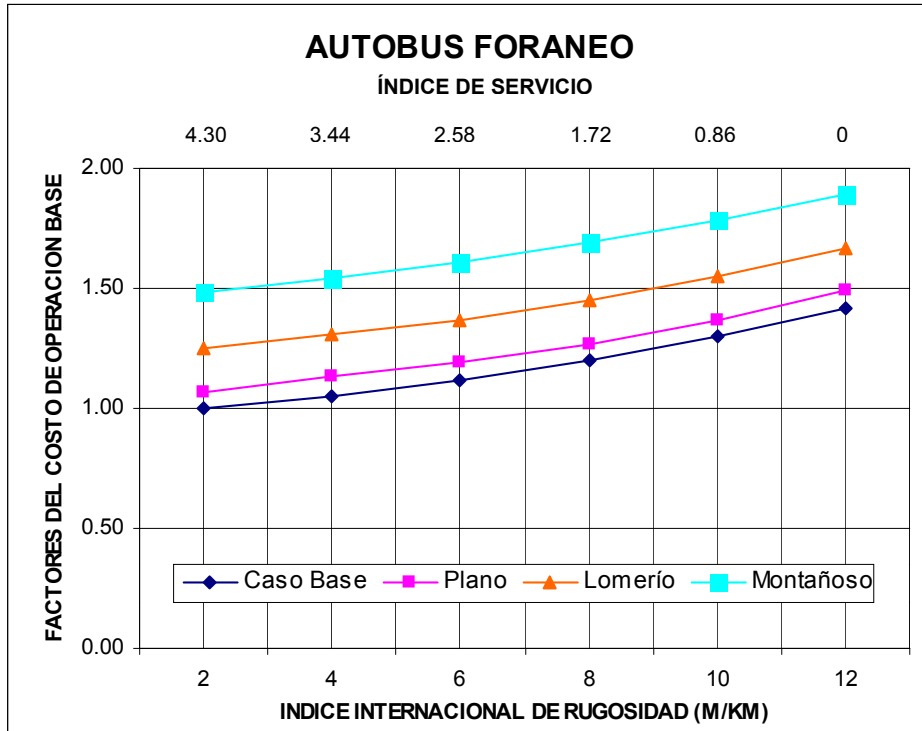


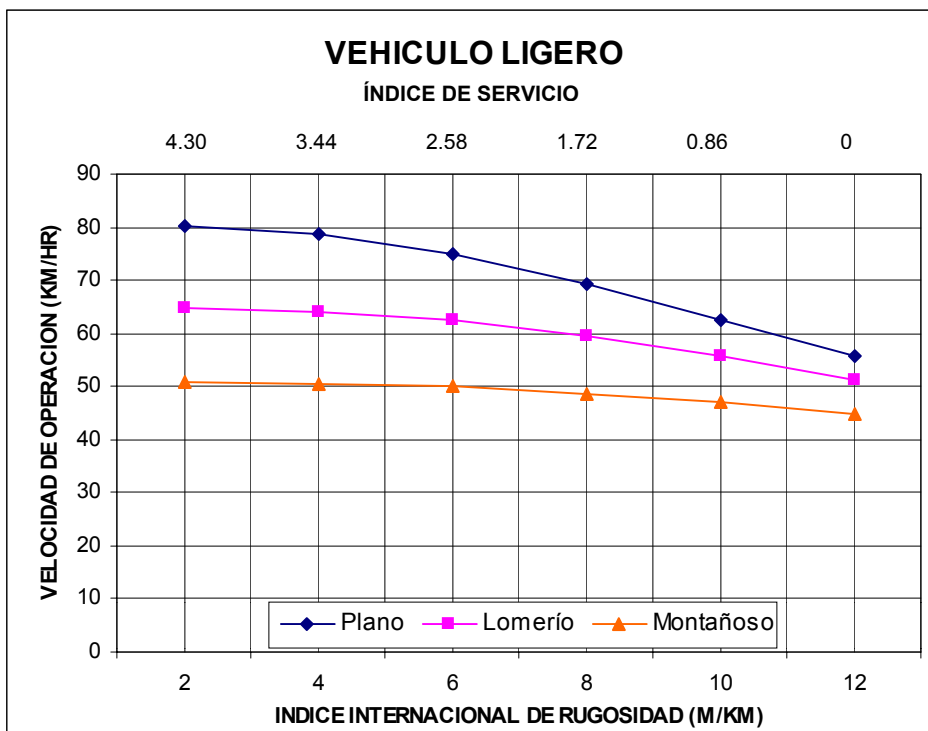
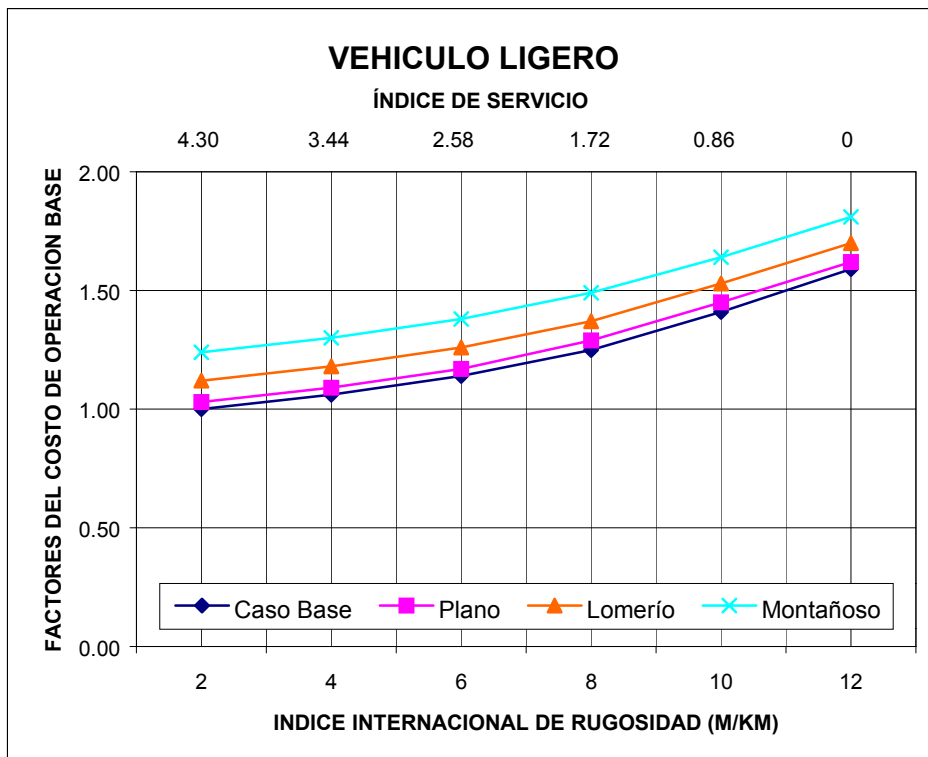
















## Indicadores del Estado Superficial.

---

Los estados de la superficie de rodamiento están representados, como fue mencionado, por el Índice de Servicio y el Índice Internacional de Rugosidad. El primero corresponde a la valuación de la comodidad del viaje en una escala de 0 a 5, que realizan cuatro personas en un vehículo en buenas condiciones de suspensión y alineación, circulando a velocidad normal de operación (\*).

El Índice Internacional constituye 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.

En la figura 1 se muestra gráficamente la escala de dicho Índice con una breve descripción del estado cualitativo del pavimento correspondiente a ciertos rangos.

En virtud de que los equipos disponibles para la medición de la rugosidad son muy variados y generan resultados con base en escalas propias, se incluyen las equivalencias aproximadas entre las principales escalas de rugosidad utilizadas internacionalmente (figura 2). Por último, cabe mencionar que además del equipo móvil, generalmente caro, existe un método muy accesible para realizar estimaciones de la rugosidad en campo, a través del mismo procedimiento utilizado para controlar las tolerancias a las irregularidades de una superficie (Paterson, 1987). El método consiste en colocar manualmente una regla de dos o tres metros de largo, longitudinalmente, sobre una de las huellas de camino, medir la desviación máxima bajo la regla en mm y repetir la operación a distancias convenientemente espaciadas. Con los datos de las mediciones, calcular las frecuencias acumuladas y sustituir el valor del 95 percentil resultante (aquél que es mayor al 95% de las observaciones e inferior al 5%) en la fórmula siguiente que corresponda, para conocer el valor del Índice Internacional de Rugosidad (IIR), en m/km:

---

\* El procedimiento detallado y recomendaciones asociadas pueden consultarse en "SISTEMA MEXICANO PARA LA ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS. Primera fase". Documentos Técnicos No. 3 Y 4. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, Qro., México, 1991.

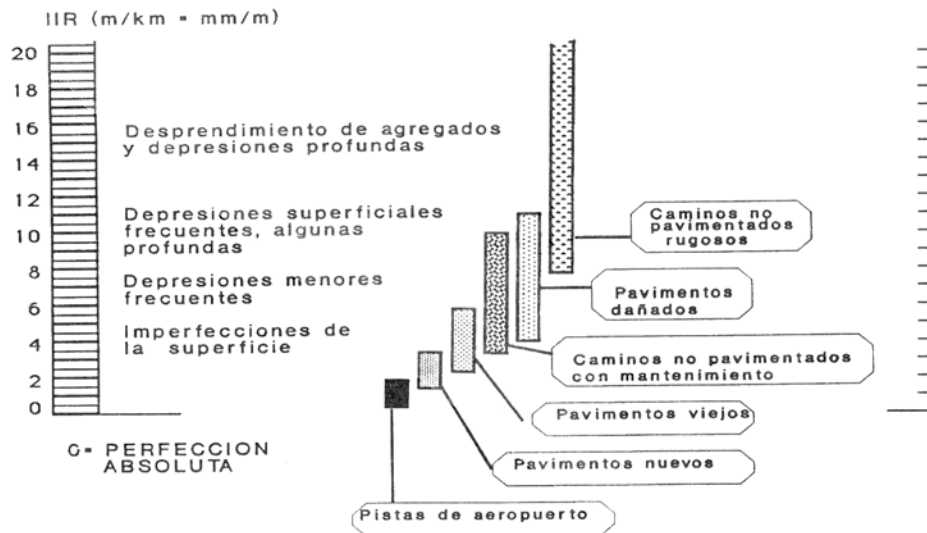
$IIR(m/km) = 0.35 DMR_3$ ;  $DMR_3=95$  percentil de las Desviaciones Máximas bajo una Regla de 3 m de largo;

$IIR (m/km) = 0.437 DMR_2$ ;  $DMR_2 = 95$  percentil de las Desviaciones Máximas bajo una Regla de 2 m de largo;

Un procedimiento alternativo a la utilización de estas fórmulas es el uso de las gráficas de la figura 3.

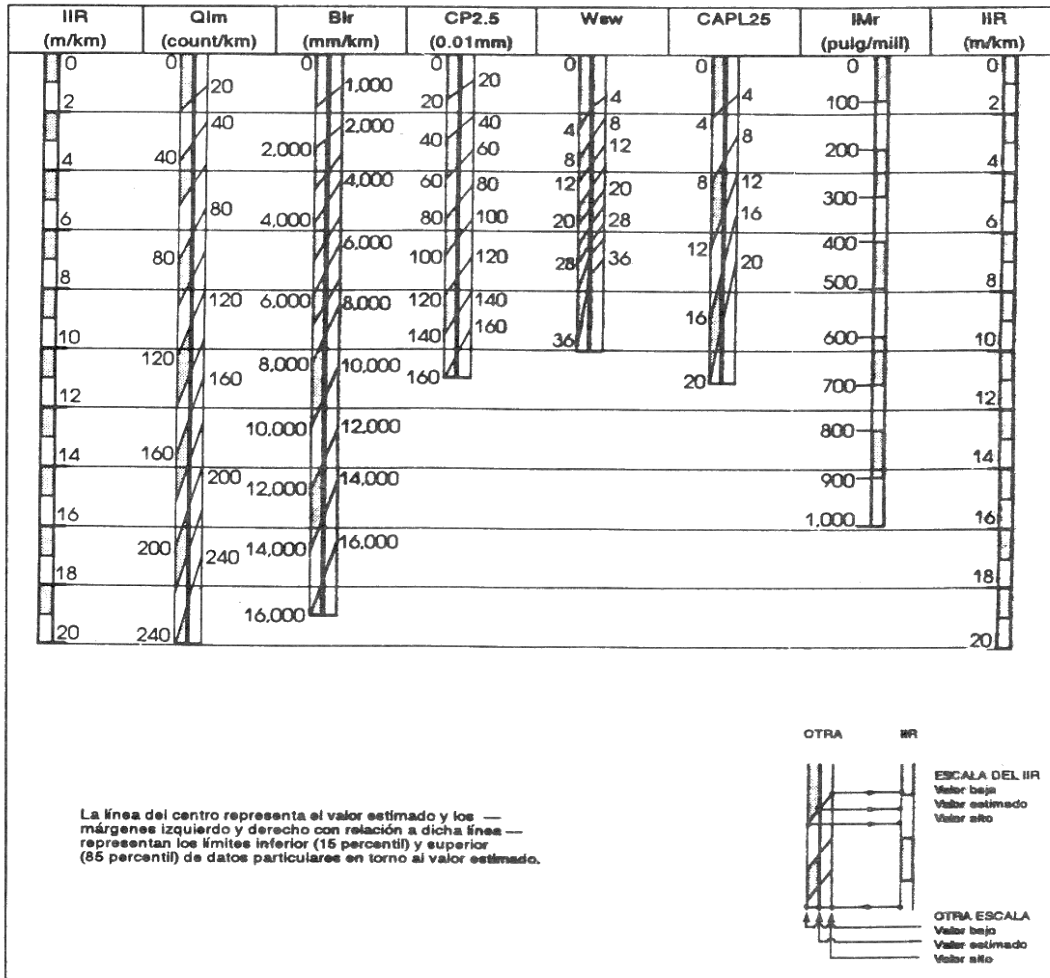
Para reducir errores en la medición de la rugosidad y, por tanto, en la apreciación de costos de operación mediante las gráficas aquí presentadas, se recomienda medir o evaluar tramos homogéneos. Con ello se reducirán las distorsiones que causaría el uso de grandes promedios de índices de servicio o rugosidad como datos de entrada a las gráficas.

Fig.1.  
ESCALA DEL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD.



Fuente: Adaptado de Sayers, M.W., T.D. Gillespie and W.D.O. Paterson (1986). Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. Technical Paper 46. The World Bank. Washington, D.C.

Fig. 2  
CONVERSIONES APROXIMADAS ENTRE LAS PRINCIPALES ESCALAS DE RUGOSIDAD.



NOTAS: Conversiones estimadas sobre datos de "International Road Roughness Experiment", (Sayers, Gillespie and Queiroz, 1986).

IIR Índice Internacional de Rugosidad (Sayers, Gillespie and Paterson, Public. Tec. del Banco Mundial No. 46, 1986).

QIm "Quarter-car Index" de un "Maysmeter" calibrado, Estudio de Costos en Carreteras, Brasil-PNUD:

$$IIR = QIm / 13 + 0.37 IIR; \quad IIR < 17$$

Bir "Bump integrator trailer" a 32 km/h, "Transport and Road Research Laboratory", Inglaterra:

$$IIR = 0.0032 Bir^{0.98} + 0.31 IIR; \quad IIR < 17$$

CP2.5 "Coefficient of planarity" sobre una base de 2.5 m de longitud para un perfilómetro APL72, "Centre de Recherches Routiers", Bélgica:

$$IIR = CP2.5 / 16 + 0.27 IIR; \quad IIR < 11$$

Wsw Energía de Onda Corta para un perfilómetro APL72, "Laboratoire Central des Ponts et Chaussées", Francia:

$$IIR = 0.78 Wsw^{0.63} + 0.89 IIR; \quad IIR < 9$$

CAPL25 Coeficiente del perfilómetro APL25, "Laboratoire Central des Ponts et Chaussées", Francia:

$$IIR = 0.45k CAPL25 + 16\%; \quad IIR < 11$$

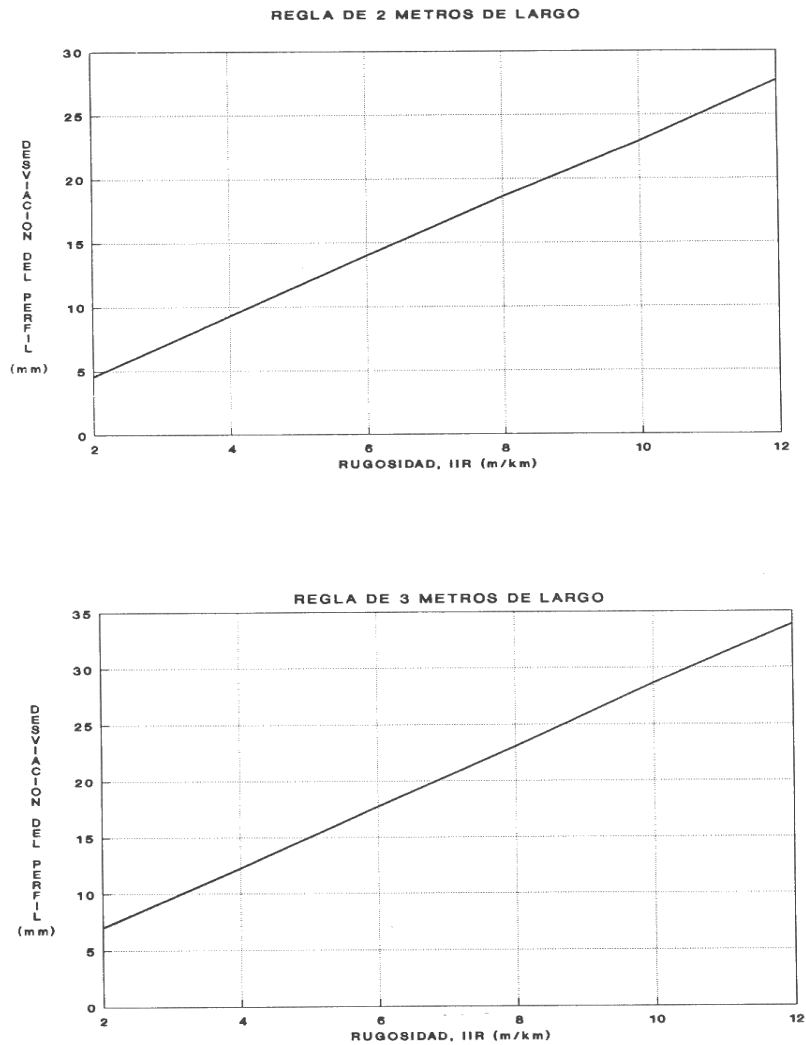
Dónde k=1 para uso general, k=0.74 para superficies de concreto asfáltico, k=1.11 para tratamiento superficial, con tierra o grava.

IMr Equivalencia del IIR en pulg/milla, de la Simulación de Referencia de un "Quarter-car" a 50 mill/h (ver "HSR-reference" en Gillespie, Sayers and Segel, NCHRP report 228, 1980) y "RARS 80" en Sayers, Gillespie y Queiroz, Public. Tec. del Banco Mundial No. 45, 1986):

$$IIR = IMr / 63.36$$

Fuente: Adaptación de Paterson, W.D.O. (1987). "Road Deterioration and Maintenance Effects, Models for Planning and Management", The Highway Design and Maintenance Standards Series, pág.36. The World Bank.

Fig.3  
EQUIVALENCIAS ENTRE LA ESCALA DEL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD Y DESVIACIONES CON RESPECTO A REGLAS DE 2m y 3m DE LONGITUD.



NOTA: Las desviaciones del perfil corresponden al valor del 95 percentil de las mediciones bajo la regla correspondiente.

Fuente: Adaptación de Paterson, W.D.O. (1987). "Road Deterioration and Maintenance Effects, Models For Planning and Management", The Highway Design and Maintenance Standards Series, pág. 40, The World Bank.

## Nota metodológica.

---

El desarrollo de este trabajo tiene como antecedentes las Publicaciones Técnicas 20 y 30 elaboradas en el propio Instituto Mexicano del Transporte. Tomándolas como base, se trabajó para obtener Costos de Operación Vehicular actualizados de los vehículos más representativos que transitan por las carreteras nacionales y que puedan ser de utilidad a los responsables de la construcción y conservación de carreteras y a los especialistas en su planeación.

La actualización de esta información consistió en obtener características técnicas de los siete tipos de vehículos identificados que intervienen en la determinación de los Costos de Operación Vehicular y que son: Peso del vehículo vacío, Carga útil, Velocidad deseada, Área frontal proyectada y Velocidad calibrada del motor. El factor de eficiencia energética se modificó, aprovechando el rango permitido por el modelo HDM (The Highway Design and Maintenance Standards Model) en su versión 3, debido a que arrojó resultados más cercanos a la realidad. La Potencia máxima en operación y la Potencia máxima del freno se calcularon tomando como referencia las expresiones matemáticas sugeridas en el modelo HDM (The Highway Design and Maintenance Standards Model) en su versión 4, ya que éstas ofrecieron resultados más acordes con lo observado en la práctica, como sigue:

$HPDRIVE = 0.75 HPRATED$ , para vehículos diesel (Bennet, 1994).

$HPDRIVE = 2.0 HPRATED^{0.7}$ , para vehículos de gasolina (Watanatada, 1987)

$HPBRAKE = 9.3 GVW + 13$ , (HDM-4), para ambos tipos de vehículos.

Dónde:

HPDRIVE: Potencia Máxima en Operación.

HPBRAKE: Potencia Máxima del Freno.

HPRATED: Potencia Nominal del Vehículo.

GVW: Peso neto del vehículo en toneladas.

Considerando:

HPRATED tiene que dividirse entre 0.98632 para convertirla en HP métricos (1 HP métrico = 0.98632 HP).

La expresión de HPBRAKE, por su parte, se divide entre 0.736 para hacer la conversión de KW a HP métricos (1 HP métrico = 736 W = 0.736 KW).

Se investigaron características de los neumáticos tales como: Precio de llantas nuevas y Costo del renovado. También, se obtuvieron datos sobre la utilización del vehículo como son el Número de kilómetros y horas conducidos por año, Vida útil promedio de servicio, Edad del vehículo en kilómetros, Número de pasajeros por

vehículo (para el caso del Autobús Foráneo) y costos unitarios como el Precio del vehículo nuevo, Costo del combustible y de los lubricantes, Tiempo de los Operadores, Mano de Obra de Mantenimiento, Tasa de interés anual y Costos indirectos por vehículo-km.

A partir de éstos y de otros datos y coeficientes originales de los modelos, cuyo listado se presenta para cada vehículo en este capítulo, se calcularon velocidades y costos de operación para rugosidades de 2 a 12 m/km y combinaciones de pendientes y curvaturas horizontales representativas de un trazo totalmente plano y recto (0% y 0°/km, respectivamente), de otro en terreno sensiblemente plano (1% y 100°/km), en lomerío (3% y 300°/km) y en terreno montañoso (5% y 700°/km).

En las tablas A.1. y A.2. se presentan estos resultados intermedios para cada uno de los vehículos seleccionados.

Los costos fueron divididos entre el costo de operación base, para obtener factores adimensionales como los que se muestran en las tablas A.3. para todos los vehículos.

Los resultados se graficaron en la forma en que se presentan en el apartado correspondiente, incluyendo en el eje horizontal superior la equivalencia de rugosidad en términos del Índice de Servicio, establecida con base en la experiencia nacional. Debido a la prácticamente nula variación de costos y velocidades por debajo de un Índice Internacional de Rugosidad de 2 m/km (o por arriba de un Índice de Servicio de 4.3), dicho rango no se incluyó en las gráficas.

TABLA A.1.  
VELOCIDAD DE OPERACIÓN-CAMIÓN ARTICULADO (T3-S3)  
Valores calculados en km/hora (2002)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	64.35	42.95	31.62
4	61.80	42.33	31.38
6	55.50	40.78	30.88
8	47.30	38.05	29.92
10	39.88	34.61	28.46
12	34.00	31.07	26.69

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

TABLA A.2.  
COSTOS DE OPERACIÓN-CAMIÓN ARTICULADO (T3-S3)  
Valores calculados en pesos por vehículo-km (2002)

IIR	Caso Base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	8.26	9.17	11.54	14.31
4	9.21	10.14	12.52	15.30
6	10.24	11.17	13.54	16.31
8	11.44	12.31	14.62	17.37
10	12.74	13.55	15.77	18.48
12	14.08	14.86	17.00	19.65

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

TABLA A.3.  
FACTORES DEL COSTO BASE-CAMIÓN ARTICULADO (T3-S3)  
(Adimensional)

IIR	Caso Base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.11	1.40	1.73
4	1.12	1.23	1.52	1.85
6	1.24	1.35	1.64	1.97
8	1.38	1.49	1.77	2.10
10	1.54	1.64	1.91	2.24
12	1.70	1.80	2.06	2.38

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km



TABLA A.1.  
VELOCIDAD DE OPERACIÓN-CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2)  
Valores calculados en km/hora (2002)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	72.21	50.06	37.07
4	68.50	49.17	36.77
6	59.43	46.65	36.00
8	49.09	42.35	34.45
10	40.67	37.39	32.18
12	34.37	32.76	29.53

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

TABLA A.2.  
COSTOS DE OPERACIÓN-CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2)  
Valores calculados en pesos por vehículo-km (2002)

IIR	Caso Base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	7.56	8.23	10.02	12.19
4	8.45	9.14	10.95	13.13
6	9.46	10.14	11.93	14.09
8	10.64	11.27	12.98	15.10
10	11.91	12.51	14.13	16.18
12	13.22	13.80	15.35	17.33

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

TABLA A.3.  
FACTORES DEL COSTO BASE-CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2)  
(Adimensional)

IIR	Caso Base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.09	1.33	1.61
4	1.12	1.21	1.45	1.74
6	1.25	1.34	1.58	1.86
8	1.41	1.49	1.72	2.00
10	1.58	1.65	1.87	2.14
12	1.75	1.83	2.03	2.29

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

**TABLA A.1.**  
**VELOCIDAD DE OPERACIÓN-CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2-R4)**  
 Valores calculados en km/hora (2002)

<b>IIR</b>	<b>Plano</b>	<b>Lomerío</b>	<b>Montañoso</b>
<b>2</b>	51.60	33.42	24.58
<b>4</b>	50.13	33.01	24.39
<b>6</b>	47.04	32.24	24.10
<b>8</b>	42.38	30.92	23.60
<b>10</b>	37.29	29.12	22.85
<b>12</b>	32.63	27.08	21.90

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
 Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

**TABLA A.2.**  
**COSTOS DE OPERACIÓN-CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2-R4)**  
 Valores calculados en pesos por vehículo-km (2002)

<b>IIR</b>	<b>Caso Base</b>	<b>Plano</b>	<b>Lomerío</b>	<b>Montañoso</b>
<b>2</b>	10.31	11.77	15.29	19.26
<b>4</b>	11.48	12.94	16.49	20.47
<b>6</b>	12.71	14.16	17.70	21.70
<b>8</b>	14.07	15.46	18.97	22.96
<b>10</b>	15.54	16.85	20.30	24.28
<b>12</b>	17.08	18.33	21.69	25.65

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
 Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

**TABLA A.3.**  
**FACTORES DEL COSTO BASE-CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2-R4)**  
 (Adimensional)

<b>IIR</b>	<b>Caso Base</b>	<b>Plano</b>	<b>Lomerío</b>	<b>Montañoso</b>
<b>2</b>	1.00	1.14	1.48	1.87
<b>4</b>	1.11	1.26	1.60	1.99
<b>6</b>	1.23	1.37	1.72	2.10
<b>8</b>	1.36	1.50	1.84	2.23
<b>10</b>	1.51	1.63	1.97	2.35
<b>12</b>	1.66	1.78	2.10	2.49

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
 Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

TABLA A.1.  
VELOCIDAD DE OPERACIÓN-CAMIÓN DE TRES EJES  
Valores calculados en km/hora (2002)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	62.27	45.66	34.65
4	60.69	45.05	34.38
6	57.35	43.84	33.89
8	52.50	41.90	33.09
10	47.08	39.36	31.97
12	41.91	36.52	30.57

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

TABLA A.2.  
COSTOS DE OPERACIÓN-CAMIÓN DE TRES EJES  
Valores calculados en pesos por vehículo-km (2002)

IIR	Caso Base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	5.16	5.74	7.24	9.05
4	5.81	6.42	7.94	9.76
6	6.45	7.08	8.64	10.47
8	7.12	7.76	9.34	11.19
10	7.84	8.47	10.06	11.92
12	8.63	9.23	10.81	12.67

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

TABLA A.3.  
FACTORES DEL COSTO BASE-CAMIÓN DE TRES EJES  
(Adimensional)

IIR	Caso Base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.11	1.40	1.75
4	1.13	1.24	1.54	1.89
6	1.25	1.37	1.67	2.03
8	1.38	1.50	1.81	2.17
10	1.52	1.64	1.95	2.31
12	1.67	1.79	2.09	2.46

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

TABLA A.1.  
VELOCIDAD DE OPERACIÓN-CAMIÓN DE DOS EJES  
Valores calculados en km/hora (2002)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	64.43	50.32	38.90
4	62.73	49.54	38.54
6	59.04	47.88	37.84
8	53.72	45.26	36.68
10	47.89	41.97	35.08
12	42.42	38.45	33.17

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

TABLA A.2.  
COSTOS DE OPERACIÓN-CAMIÓN DE DOS EJES  
Valores calculados en pesos por vehículo-km (2002)

IIR	Caso Base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	3.59	3.92	4.78	5.87
4	4.23	4.57	5.44	6.54
6	4.85	5.21	6.10	7.20
8	5.51	5.87	6.77	7.87
10	6.22	6.57	7.46	8.56
12	6.98	7.31	8.19	9.27

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

TABLA A.3.  
FACTORES DEL COSTO BASE-CAMIÓN DE DOS EJES  
(Adimensional)

IIR	Caso Base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.09	1.33	1.64
4	1.18	1.27	1.52	1.82
6	1.35	1.45	1.70	2.01
8	1.53	1.64	1.89	2.19
10	1.73	1.83	2.08	2.38
12	1.94	2.04	2.28	2.58

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

TABLA A.1.  
VELOCIDAD DE OPERACIÓN-AUTOBÚS FORÁNEO  
Valores calculados en km/hora (2002)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	80.88	64.59	49.69
4	79.35	63.93	49.43
6	75.08	62.14	48.80
8	68.08	58.79	47.56
10	60.10	54.20	45.59
12	52.67	49.14	43.02

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

TABLA A.2.  
COSTOS DE OPERACIÓN-AUTOBÚS FORÁNEO  
Valores calculados en pesos por vehículo-km (2002)

IIR	Caso Base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	6.79	7.26	8.49	10.06
4	7.16	7.64	8.88	10.46
6	7.59	8.07	9.33	10.92
8	8.13	8.61	9.87	11.46
10	8.83	9.29	10.53	12.10
12	9.67	10.11	11.31	12.85

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

TABLA A.3.  
FACTORES DEL COSTO BASE-AUTOBÚS FORÁNEO  
(Adimensional)

IIR	Caso Base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.07	1.25	1.48
4	1.05	1.13	1.31	1.54
6	1.12	1.19	1.37	1.61
8	1.20	1.27	1.45	1.69
10	1.30	1.37	1.55	1.78
12	1.42	1.49	1.67	1.89

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

**TABLA A.1.**  
**VELOCIDAD DE OPERACIÓN-VEHÍCULO LIGERO O UTILITARIO**  
 Valores calculados en km/hora (2002)

<b>IIR</b>	<b>Plano</b>	<b>Lomerío</b>	<b>Montañoso</b>
<b>2</b>	80.36	64.84	50.94
<b>4</b>	78.73	64.12	50.64
<b>6</b>	74.99	62.42	49.97
<b>8</b>	69.22	59.53	48.76
<b>10</b>	62.46	55.64	46.96
<b>12</b>	55.81	51.26	44.65

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
 Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

**TABLA A.2.**  
**COSTOS DE OPERACIÓN-VEHÍCULO LIGERO O UTILITARIO**  
 Valores calculados en pesos por vehículo-km (2002)

<b>IIR</b>	<b>Caso Base</b>	<b>Plano</b>	<b>Lomerío</b>	<b>Montañoso</b>
<b>2</b>	2.22	2.29	2.48	2.75
<b>4</b>	2.35	2.42	2.61	2.88
<b>6</b>	2.53	2.60	2.79	3.06
<b>8</b>	2.78	2.86	3.04	3.31
<b>10</b>	3.14	3.21	3.39	3.64
<b>12</b>	3.53	3.60	3.77	4.01

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
 Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

**TABLA A.3.**  
**FACTORES DEL COSTO BASE-VEHÍCULO LIGERO O UTILITARIO**  
 (Adimensional)

<b>IIR</b>	<b>Caso Base</b>	<b>Plano</b>	<b>Lomerío</b>	<b>Montañoso</b>
<b>2</b>	1.00	1.03	1.12	1.24
<b>4</b>	1.06	1.09	1.18	1.30
<b>6</b>	1.14	1.17	1.26	1.38
<b>8</b>	1.25	1.29	1.37	1.49
<b>10</b>	1.41	1.45	1.53	1.64
<b>12</b>	1.59	1.62	1.70	1.81

Columnas: Diferentes tipos de terreno  
 Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

## Datos utilizados.

### CAMIÓN ARTICULADO (T3-S3)

#### Datos de Entrada

#### Características de la Carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav. 0-No pav.	1.000
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.000
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.000
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.000
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.000

•(Valor de "default" del programa en función de la curvatura)

Selección del vehículo Tipo de vehículo:	10.000
--	--------

10 Camión articulado\*

\* (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para un INTERNATIONAL 9200i MODELO 2001, MOTOR DETROIT DIESEL S-60 430 DE 430 HP (SAE NETO), CON UN SEMIRREMOLQUE DE TRES EJES CON CAJA de 40 pies; el resto proviene de los resultados de los estudios de Brasil para un vehículo del mismo tipo)

#### Características del Vehículo

1 Peso del vehículo vacío	kg	<b>19 436.000</b>
2 Carga útil	kg	<b>35 109.000</b>
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	<b>326.973</b>
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	<b>706.887</b>
5 Velocidad deseada	km/hora	<b>100.000</b>
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.630
7 Área frontal proyectada	m <sup>2</sup>	<b>9.136</b>
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	<b>1 700.000</b>
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	<b>0.650</b>
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	<b>1.150</b>

### Características de los Neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	<b>22.000</b>
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm <sup>3</sup>	8.390
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	<b>0.446</b>
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	3.570
5 Término const. del modelo de desgaste	m <sup>3</sup> /m	0.164
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm <sup>3</sup> /kj	12.780

### Datos sobre la Utilización del Vehículo

1 Número de km conducidos por año	km	<b>180 000.000</b>
2 Número de horas conducidas por año	horas	<b>2 860.000</b>
3 Índice de utilización horaria	fracción	<b>0.850</b>
4 Vida útil promedio de servicio	años	<b>8.000</b>
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	<b>1.000</b>
6 Edad del vehículo en kilómetros	km	<b>600 000.000</b>
7 Número de pasajeros por vehículo	#	<b>0.000</b>

### Costos Unitarios (Pesos en miles, precios 2001)

1 Precio del vehículo nuevo	\$	<b>896 089.188</b>
2 Costo del combustible	\$/litro	<b>3.790</b>
3 Costo de los lubricantes	\$/litro	<b>11.320</b>
4 Costo por llanta nueva	\$/llanta	<b>1 361.700</b>
5 Tiempo de los operarios	\$/hora	<b>44.380</b>
6 Tiempo de los pasajeros	\$/hora	<b>0.000</b>
7 Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	<b>31.070</b>
8 Retención de la carga	\$/hora	<b>0.000</b>
9 Tasa de interés anual	%	<b>10.000</b>
10 Costos indirectos por vehículo-km	\$	<b>0.751</b>



Coefficientes Adicionales

1 kp	Refacciones		0.371
2 CPo	Refacciones	10E-6	13.940
3 CPq	Refacciones	10E-3	15.650
4 QIPo	Refacciones		0.000
5 CLo	Mantenimiento		652.510
6 CLp	Mantenimiento		0.519
7 CLq	Mantenimiento		0.000
8 COo	Lubricantes		5.150
9 FRATIOo	VCURVE		0.179
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.023
11 ARVMAX	VROUGH		130.900
1 BW	VDESIR		1.000
2 BETA	Velocidad		0.244
3 Eo	Velocidad		1.018
4 Ao	Combustible		-30 559.000
5 A1	Combustible		156.100
6 A2	Combustible		0.000
7 A3	Combustible		4 002.000
8 A4	Combustible		0.000
9 A5	Combustible		4.410
10 A6	Combustible		4 435.000
11 A7	Combustible		26.080
12NHO	Combustible		-85.000

## CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2)

### Datos de Entrada

#### Características de la Carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav. 0-No pav.	1.000
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.000
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.000
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.000
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.000

•(Valor de "default" del programa en función de la curvatura)

Selección del vehículo Tipo de vehículo:	10.000
--	--------

10 Camión articulado\*

\* (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para un INTERNATIONAL 9200i MODELO 2001, MOTOR DETROIT DIESEL S-60 430 DE 430 HP (SAE NETO), CON UN SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES CON CAJA de 40 pies; el resto proviene de los resultados de los estudios de Brasil para un vehículo del mismo tipo)

#### Características del Vehículo

1 Peso del vehículo vacío	kg	<b>17 436.000</b>
2 Carga útil	kg	<b>25 000.000</b>
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	<b>326.973</b>
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	<b>553.879</b>
5 Velocidad deseada	km/hora	<b>100.000</b>
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.630
7 Área frontal proyectada	m <sup>2</sup>	<b>9.136</b>
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	<b>1 700.000</b>
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	<b>0.650</b>
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	<b>1.150</b>

### Características de los Neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	<b>18.000</b>
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm <sup>3</sup>	8.390
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	<b>0.446</b>
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	3.570
5 Término const. del modelo de desgaste	m <sup>3</sup> /m	0.164
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm <sup>3</sup> /kj	12.780

### Datos sobre la Utilización del Vehículo

1 Número de km conducidos por año	km	<b>180 000.000</b>
2 Número de horas conducidas por año	horas	<b>2 860.000</b>
3 Índice de utilización horaria	fracción	<b>0.850</b>
4 Vida útil promedio de servicio	años	<b>8.000</b>
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	<b>1.000</b>
6 Edad del vehículo en kilómetros	km	<b>600 000.000</b>
7 Número de pasajeros por vehículo	#	<b>0.000</b>

### Costos Unitarios (Pesos en miles, precios 2001)

1 Precio del vehículo nuevo	\$	<b>863 364.188</b>
2 Costo del combustible	\$/litro	<b>3.790</b>
3 Costo de los lubricantes	\$/litro	<b>11.320</b>
4 Costo por llanta nueva	\$/llanta	<b>1 361.700</b>
5 Tiempo de los operarios	\$/hora	<b>44.380</b>
6 Tiempo de los pasajeros	\$/hora	<b>0.000</b>
7 Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	<b>31.070</b>
8 Retención de la carga	\$/hora	<b>0.000</b>
9 Tasa de interés anual	%	<b>10.000</b>
10 Costos indirectos por vehículo-km	\$	<b>0.687</b>

## Coeficientes Adicionales

1 kp	Refacciones		0.371
2 CPo	Refacciones	10E-6	13.940
3 CPq	Refacciones	10E-3	15.650
4 QIPo	Refacciones		0.000
5 CLo	Mantenimiento		652.510
6 CLp	Mantenimiento		0.519
7 CLq	Mantenimiento		0.000
8 COo	Lubricantes		5.150
9 FRATIOo	VCURVE		0.179
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.023
11 ARVMAX	VROUGH		130.900
1 BW	VDESIR		1.000
2 BETA	Velocidad		0.244
3 Eo	Velocidad		1.018
4 Ao	Combustible		-30 559.000
5 A1	Combustible		156.100
6 A2	Combustible		0.000
7 A3	Combustible		4 002.000
8 A4	Combustible		0.000
9 A5	Combustible		4.410
10 A6	Combustible		4 435.000
11 A7	Combustible		26.080
12NHO	Combustible		-85.000

## CAMIÓN ARTICULADO (T3-S2-R4)

### Datos de Entrada

#### Características de la Carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav. 0-No pav.	1.000
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.000
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.000
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.000
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.000

•(Valor de "default" del programa en función de la curvatura)

Selección del vehículo Tipo de vehículo:	10.000
--	--------

10 Camión articulado\*

\* (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para un INTERNATIONAL 9200i MODELO 2001, MOTOR DETROIT DIESEL S-60 430 DE 430 HP (SAE NETO), CON UN SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES Y UN REMOLQUE DE 4 EJES CON CAJAS de 40 pies; el resto proviene de los resultados de los estudios de Brasil para un vehículo del mismo tipo)

#### Características del Vehículo

1 Peso del vehículo vacío	kg	<b>29 436.000</b>
2 Carga útil	kg	<b>48 000.000</b>
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	<b>326.973</b>
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	<b>996.134</b>
5 Velocidad deseada	km/hora	<b>100.000</b>
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.630
7 Área frontal proyectada	m <sup>2</sup>	<b>9.136</b>
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	<b>1 700.000</b>
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	<b>0.650</b>
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	<b>1.150</b>

### Características de los Neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	<b>34.000</b>
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm <sup>3</sup>	8.390
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	<b>0.446</b>
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	3.570
5 Término const. del modelo de desgaste	m <sup>3</sup> /m	0.164
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm <sup>3</sup> /kj	12.780

### Datos sobre la Utilización del Vehículo

1 Número de km conducidos por año	km	<b>180 000.000</b>
2 Número de horas conducidas por año	horas	<b>2 860.000</b>
3 Índice de utilización horaria	fracción	<b>0.850</b>
4 Vida útil promedio de servicio	años	<b>8.000</b>
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	<b>1.000</b>
6 Edad del vehículo en kilómetros	km	<b>600 000.000</b>
7 Número de pasajeros por vehículo	#	<b>0.000</b>

### Costos Unitarios (Pesos en miles, precios 2001)

1 Precio del vehículo nuevo	\$	<b>1 096 178.000</b>
2 Costo del combustible	\$/litro	<b>3.790</b>
3 Costo de los lubricantes	\$/litro	<b>11.320</b>
4 Costo por llanta nueva	\$/llanta	<b>1 361.700</b>
5 Tiempo de los operarios	\$/hora	<b>44.380</b>
6 Tiempo de los pasajeros	\$/hora	<b>0.000</b>
7 Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	<b>31.070</b>
8 Retención de la carga	\$/hora	<b>0.000</b>
9 Tasa de interés anual	%	<b>10.000</b>
10 Costos indirectos por vehículo-km	\$	<b>0.938</b>

Coeficientes Adicionales

1 kp	Refacciones		0.371
2 CPo	Refacciones	10E-6	13.940
3 CPq	Refacciones	10E-3	15.650
4 QIPo	Refacciones		0.000
5 CLo	Mantenimiento		652.510
6 CLp	Mantenimiento		0.519
7 CLq	Mantenimiento		0.000
8 COo	Lubricantes		5.150
9 FRATIOo	VCURVE		0.179
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.023
11 ARVMAX	VROUGH		130.900
1 BW	VDESIR		1.000
2 BETA	Velocidad		0.244
3 Eo	Velocidad		1.018
4 Ao	Combustible		-30 559.000
5 A1	Combustible		156.100
6 A2	Combustible		0.000
7 A3	Combustible		4 002.000
8 A4	Combustible		0.000
9 A5	Combustible		4.410
10 A6	Combustible		4 435.000
11 A7	Combustible		26.080
12NHO	Combustible		-85.000

## CAMIÓN DE TRES EJES

### Datos de Entrada

#### Características de la Carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav. 0-No pav.	1.000
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.000
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.000
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.000
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.000

•(Valor de "default" del programa en función de la curvatura)

Selección del vehículo Tipo de vehículo:	9.000
--	-------

#### 9 Camión pesado (de tres ejes)\*

\* (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para un DINA 661 MODELO 2001, MOTOR CATERPILLAR 3126B EPA 99 DE 250 HP (SAE NETO), CON CARROCERÍA DE REDILAS de 22 pies; el resto proviene de los resultados de los estudios de Brasil para un vehículo del mismo tipo)

#### Características del Vehículo

1 Peso del vehículo vacío	kg	<b>8 800.000</b>
2 Carga útil	kg	<b>17 282.000</b>
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	<b>190.101</b>
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	<b>347.232</b>
5 Velocidad deseada	km/hora	<b>90.000</b>
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.850
7 Área frontal proyectada	m <sup>2</sup>	<b>6.999</b>
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	<b>2 100.000</b>
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	<b>0.800</b>
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	<b>1.150</b>



### Características de los Neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	<b>10.000</b>
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm <sup>3</sup>	7.300
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	<b>0.446</b>
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	3.390
5 Término const. del modelo de desgaste	m <sup>3</sup> /m	0.164
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm <sup>3</sup> /kj	12.780

### Datos sobre la Utilización del Vehículo

1 Número de km conducidos por año	km	<b>150 000.000</b>
2 Número de horas conducidas por año	horas	<b>2 860.000</b>
3 Índice de utilización horaria	fracción	<b>0.850</b>
4 Vida útil promedio de servicio	años	<b>8.000</b>
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	<b>1.000</b>
6 Edad del vehículo en kilómetros	km	<b>500 000.000</b>
7 Número de pasajeros por vehículo	#	<b>0.000</b>

### Costos Unitarios (Pesos en miles, precios 2001)

1 Precio del vehículo nuevo	\$	<b>508 300.000</b>
2 Costo del combustible	\$/litro	<b>3.790</b>
3 Costo de los lubricantes	\$/litro	<b>11.320</b>
4 Costo por llanta nueva	\$/llanta	<b>1 361.700</b>
5 Tiempo de los operarios	\$/hora	<b>38.830</b>
6 Tiempo de los pasajeros	\$/hora	<b>0.000</b>
7 Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	<b>31.070</b>
8 Retención de la carga	\$/hora	<b>0.000</b>
9 Tasa de interés anual	%	<b>10.000</b>
10 Costos indirectos por vehículo-km	\$	<b>0.469</b>

## Coeficientes Adicionales

1 kp	Refacciones		0.371
2 CPo	Refacciones	10E-6	8.610
3 CPq	Refacciones	10E-3	35.310
4 QIPo	Refacciones		0.000
5 CLo	Mantenimiento		301.460
6 CLp	Mantenimiento		0.519
7 CLq	Mantenimiento		0.000
8 COo	Lubricantes		3.070
9 FRATIOo	VCURVE		0.292
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.094
11 ARVMAX	VROUGH		177.700
1 BW	VDESIR		1.000
2 BETA	Velocidad		0.310
3 Eo	Velocidad		1.013
4 Ao	Combustible		-22 955.000
5 A1	Combustible		95.000
6 A2	Combustible		0.000
7 A3	Combustible		3 758.000
8 A4	Combustible		0.000
9 A5	Combustible		19.120
10 A6	Combustible		2 394.000
11 A7	Combustible		13.760
12NHO	Combustible		-85.000

## CAMIÓN DE DOS EJES

### Datos de Entrada

#### Características de la Carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav. 0-No pav.	1.000
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.000
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.000
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.000
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.000

•(Valor de "default" del programa en función de la curvatura)

Selección del vehículo Tipo de vehículo:	8.000
--	-------

8 Camión mediano (de dos ejes)\*

\* (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para un DINA 551 MODELO 2001, MOTOR CATERPILLAR 3126B EPA 99 DE 175 HP (SAE NETO), CON CARROCERÍA DE REDILAS de 21 pies; el resto proviene de los resultados de los estudios de Brasil para un vehículo del mismo tipo)

#### Características del Vehículo

1 Peso del vehículo vacío	kg	<b>6 100.000</b>
2 Carga útil	kg	<b>9 776.000</b>
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	<b>133.070</b>
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	<b>218.270</b>
5 Velocidad deseada	km/hora	<b>90.000</b>
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.850
7 Área frontal proyectada	m <sup>2</sup>	<b>6.999</b>
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	<b>2 100.000</b>
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	<b>0.800</b>
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	<b>1.150</b>

### Características de los Neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	<b>6.000</b>
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm <sup>3</sup>	7.600
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	<b>0.446</b>
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	3.390
5 Término const. del modelo de desgaste	m <sup>3</sup> /m	0.164
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm <sup>3</sup> /kj	12.780

### Datos sobre la Utilización del Vehículo

1 Número de km conducidos por año	km	<b>150 000.000</b>
2 Número de horas conducidas por año	horas	<b>2 860.000</b>
3 Índice de utilización horaria	fracción	<b>0.850</b>
4 Vida útil promedio de servicio	años	<b>8.000</b>
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	<b>1.000</b>
6 Edad del vehículo en kilómetros	km	<b>500 000.000</b>
7 Número de pasajeros por vehículo	#	<b>0.000</b>

### Costos Unitarios (Pesos en miles, precios 2001)

1 Precio del vehículo nuevo	\$	<b>399 500.000</b>
2 Costo del combustible	\$/litro	<b>3.790</b>
3 Costo de los lubricantes	\$/litro	<b>11.320</b>
4 Costo por llanta nueva	\$/llanta	<b>1 361.700</b>
5 Tiempo de los operarios	\$/hora	<b>38.830</b>
6 Tiempo de los pasajeros	\$/hora	<b>0.000</b>
7 Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	<b>31.070</b>
8 Retención de la carga	\$/hora	<b>0.000</b>
9 Tasa de interés anual	%	<b>10.000</b>
10 Costos indirectos por vehículo-km	\$	<b>0.326</b>

Coefficientes Adicionales

1 KP	Refacciones		0.371
2 CPo	Refacciones	10E-6	1.490
3 CPq	Refacciones	10E-3	251.790
4 QIPo	Refacciones		0.000
5 CLo	Mantenimiento		242.030
6 CLp	Mantenimiento		0.519
7 CLq	Mantenimiento		0.000
8 COo	Lubricantes		3.070
9 FRATIOo	VCURVE		0.292
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.094
11 ARVMAX	VROUGH		177.700
1 BW	VDESIR		1.000
2 BETA	Velocidad		0.310
3 Eo	Velocidad		1.013
4 Ao	Combustible		-22 955.000
5 A1	Combustible		95.000
6 A2	Combustible		0.000
7 A3	Combustible		3 758.000
8 A4	Combustible		0.000
9 A5	Combustible		19.120
10 A6	Combustible		2 394.000
11 A7	Combustible		13.760
12NHO	Combustible		-85.000

## AUTOBÚS FORÁNEO

### Datos de Entrada

#### Características de la Carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav. 0-No pav.	1.000
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.000
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.000
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.000
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.000

•(Valor de "default" del programa en función de la curvatura)

Selección del vehículo Tipo de vehículo:	5.000
--	-------

5 Autobús\*

\* (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para un BUSSCAR VOLVO MODELO 2001, MOTOR CUMMINS ISM 370, DE 370 HP (SAE NETO); el resto proviene de los resultados de los estudios de Brasil para un vehículo del mismo tipo)

#### Características del Vehículo

1 Peso del vehículo vacío	kg	<b>15 275.000</b>
2 Carga útil	kg	<b>5 974.000</b>
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	<b>281.349</b>
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	<b>286.163</b>
5 Velocidad deseada	km/hora	<b>95.000</b>
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.650
7 Área frontal proyectada	m <sup>2</sup>	<b>7.722</b>
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	<b>1 700.000</b>
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	<b>0.800</b>
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	<b>1.150</b>

### Características de los Neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	<b>10.000</b>
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm <sup>3</sup>	6.850
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	<b>0.472</b>
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	2.390
5 Término const. del modelo de desgaste	m <sup>3</sup> /m	0.164
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm <sup>3</sup> /kj	12.780

### Datos sobre la Utilización del Vehículo

1 Número de km conducidos por año	km	<b>240 000.000</b>
2 Número de horas conducidas por año	horas	<b>2 860.000</b>
3 Índice de utilización horaria	fracción	<b>0.800</b>
4 Vida útil promedio de servicio	años	<b>8.000</b>
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	<b>1.000</b>
6 Edad del vehículo en kilómetros	km	<b>750 000.000</b>
7 Número de pasajeros por vehículo	#	<b>23.000</b>

### Costos Unitarios (Pesos en miles, precios 2001)

1 Precio del vehículo nuevo	\$	<b>1 559 644.000</b>
2 Costo del combustible	\$/litro	<b>3.790</b>
3 Costo de los lubricantes	\$/litro	<b>11.320</b>
4 Costo por llanta nueva	\$/llanta	<b>1 343.000</b>
5 Tiempo de los operarios	\$/hora	<b>55.470</b>
6 Tiempo de los pasajeros	\$/hora	<b>0.000</b>
7 Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	<b>47.150</b>
8 Retención de la carga	\$/hora	<b>0.000</b>
9 Tasa de interés anual	%	<b>10.000</b>
10 Costos indirectos por vehículo-km	\$	<b>0.617</b>

## Coeficientes Adicionales

1 KP	Refacciones		0.483
2 CPo	Refacciones	10E-6	1.770
3 CPq	Refacciones	10E-3	3.560
4 QIPo	Refacciones		190.000
5 CLo	Mantenimiento		293.440
6 CLp	Mantenimiento		0.517
7 CLq	Mantenimiento		0.005
8 COo	Lubricantes		3.070
9 FRATIOo	VCURVE		0.233
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.000
11 ARVMAX	VROUGH		212.800
1 BW	VDESIR		1.000
2 BETA	Velocidad		0.273
3 Eo	Velocidad		1.012
4 Ao	Combustible		-7 276.000
5 A1	Combustible		63.500
6 A2	Combustible		0.000
7 A3	Combustible		4 323.000
8 A4	Combustible		0.000
9 A5	Combustible		8.640
10 A6	Combustible		2 479.000
11 A7	Combustible		11.500
12NHO	Combustible		-50.000



## VEHÍCULO LIGERO Datos de Entrada

### Características de la Carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav. 0-No pav.	1.000
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.000
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.000
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.000
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.000

•(Valor de "default" del programa en función de la curvatura)

Selección del vehículo Tipo de vehículo:	4.000
--	-------

4 Utilitario (Vehículo ligero: utilitario o automóvil)\*

\* (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para una PANEL VOLKSWAGEN MODELO 2001, CON MOTOR DE 86 HP (SAE NETO); el resto proviene de los resultados de los estudios de Brasil para un vehículo del mismo tipo)

### Características del Vehículo

1 Peso del vehículo vacío	kg	<b>1 300.000</b>
2 Carga útil	kg	<b>700.000</b>
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	<b>45.642</b>
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	<b>42.935</b>
5 Velocidad deseada	km/hora	<b>110.000</b>
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.460
7 Área frontal proyectada	m <sup>2</sup>	<b>2.941</b>
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	<b>3 700.000</b>
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	<b>0.800</b>
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	<b>1.160</b>

## Características de los Neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	<b>4.000</b>
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm <sup>3</sup>	0.000
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	<b>0.435</b>
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	0.000
5 Término const. del modelo de desgaste	m <sup>3</sup> /m	0.000
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm <sup>3</sup> /kj	0.000

## Datos sobre la Utilización del Vehículo

1 Número de km conducidos por año	km	<b>20 000.000</b>
2 Número de horas conducidas por año	horas	<b>1 716.000</b>
3 Índice de utilización horaria	fracción	<b>0.600</b>
4 Vida útil promedio de servicio	años	<b>6.000</b>
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	<b>1.000</b>
6 Edad del vehículo en kilómetros	km	<b>70 000.000</b>
7 Número de pasajeros por vehículo	#	<b>2.000</b>

## Costos Unitarios (Pesos en miles, precios 2001)

1 Precio del vehículo nuevo	\$	<b>149 683.000</b>
2 Costo del combustible	\$/litro	<b>4.570</b>
3 Costo de los lubricantes	\$/litro	<b>11.650</b>
4 Costo por llanta nueva	\$/llanta	<b>527.850</b>
5 Tiempo de los operarios	\$/hora	<b>18.860</b>
6 Tiempo de los pasajeros	\$/hora	<b>0.000</b>
7 Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	<b>17.750</b>
8 Retención de la carga	\$/hora	<b>0.000</b>
9 Tasa de interés anual	%	<b>10.000</b>
10 Costos indirectos por vehículo-km	\$	<b>0.202</b>

Coefficientes Adicionales

1 KP	Refacciones		0.308
2 CPo	Refacciones	10E-6	32.490
3 CPq	Refacciones	10E-3	13.700
4 QIPo	Refacciones		120.000
5 CLo	Mantenimiento		77.140
6 CLp	Mantenimiento		0.547
7 CLq	Mantenimiento		0.000
8 COo	Lubricantes		1.550
9 FRATIOo	VCURVE		0.221
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.000
11 ARVMAX	VROUGH		239.700
1 BW	VDESIR		1.000
2 BETA	Velocidad		0.306
3 Eo	Velocidad		1.004
4 Ao	Combustible		6 014.000
5 A1	Combustible		37.600
6 A2	Combustible		0.000
7 A3	Combustible		3 846.000
8 A4	Combustible		1.398
9 A5	Combustible		0.000
10 A6	Combustible		3 604.000
11 A7	Combustible		0.000
12NHO	Combustible		-12.000

# **Cálculo de los costos de operación base.**

---

## **Resultados.**

Para que el uso común de la información contenida en las gráficas no dependa de la variación de los costos unitarios de los consumos y de los vehículos se decidió, como ha sido mencionado, el uso de factores de un costo base.

El costo de operación base se define en este trabajo como el costo de operación por kilómetro de un vehículo que transita sobre una carretera recta y plana; éste es, con curvatura y pendiente iguales a cero y con pavimento en muy buenas condiciones (Índice Internacional de Rugosidad igual a 2 m/km, Índice de Servicio igual a 4.3). Dicho costo se calcula como la suma de los productos de los diferentes consumos del vehículo en un kilómetro de recorrido, por sus respectivos costos unitarios.

Con el uso de este concepto, bastará actualizar los costos unitarios periódicamente, utilizando precios promedio nacionales de los vehículos y consumos que se indican más adelante, para actualizar el costo base. Multiplicando éste por el factor leído en las gráficas, se obtendrá el costo de operación buscado.

Los costos unitarios no deberán de incluir impuestos o derechos como el IVA, el RENAVE, el Impuesto Sobre la Adquisición de Automóviles Nuevos (ISAN), etc. Esto se debe a que, desde una perspectiva nacional, interesan los costos y beneficios que la construcción y operación de los caminos representa para el país en su conjunto y en este sentido, los impuestos son sólo transferencias de dinero que el país no gasta, pues no forman parte del costo de producción de los insumos o de los vehículos. Para los combustibles se toma el precio en bomba sin IVA.

Otra consideración particular se refiere al cargo por concepto de intereses sobre el capital invertido en los vehículos, el cual puede fluctuar debido a la variabilidad de las tasas de interés e inflación. Para su actualización se incluye la tabla B.1, donde puede leerse, para diferentes valores de la tasa anual real, el consumo correspondiente en porcentaje del precio del vehículo. La tasa real anual se calcula como la diferencia entre la tasa anual de interés bancario, menos la inflación en el año.

## Camión Articulado (T3-S3)

Tractocamión de tres ejes INTERNATIONAL 9200i con MOTOR DETROIT DIESEL S-60 430 de 430 HP.

Semirremolque de tres ejes tipo caja de aluminio de 40 pies.

Llantas 1100-20.00 normal.

Consumos por cada 1000 vehículo-km

Consumo de combustible	litros	574.66
Uso de lubricantes	litros	5.45
Consumo de llantas	núm. llantas nuevas equivalentes	0.45
Tiempo de operador	horas	12.44
Mano de obra de mantenimiento	horas	30.48
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.27
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.06
Intereses (Tasa 10%)	% precio vehículo nuevo	0.02

Costos Unitarios (miles de pesos, precios 2001)

Precio de vehículo nuevo	\$	896 089.19
Costo de combustible	\$/litro	3.79
Costo de lubricantes	\$/litro	11.32
Costo de llanta nueva	\$/llanta	1 361.70
Tiempo de operador	\$/hora	44.38
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	31.07
Tasa de interés anual	%	10.00
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.75

Costo de Operación Base (pesos por vehículo-km) \$ 8.26

Consumo de combustible	\$	2 177.94
Uso de lubricantes	\$	61.71
Consumo de llantas	\$	610.98
Tiempo de operador	\$	552.10
Mano de obra de mantenimiento	\$	946.95
Refacciones	\$	2 446.65
Depreciación	\$	507.48
Interés	\$	202.99
Costos indirectos	\$	751.00

## Camión Articulado (T3-S2)

Tractocamión de tres ejes INTERNATIONAL 9200i con MOTOR DETROIT DIESEL S-60 430 de 430 HP.

Semirremolque de dos ejes tipo caja de aluminio de 40 pies.

Llantas 1100-20.00 normal.

Consumos por cada 1000 vehículo-km

Consumo de combustible	litros	480.64
Uso de lubricantes	litros	5.45
Consumo de llantas	núm. llantas nuevas equivalentes	0.38
Tiempo de operador	horas	11.63
Mano de obra de mantenimiento	horas	30.48
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.27
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.05
Intereses (Tasa 10%)	% precio vehículo nuevo	0.02

Costos Unitarios (miles de pesos, precios 2001)

Precio de vehículo nuevo	\$	863 364.19
Costo de combustible	\$/litro	3.79
Costo de lubricantes	\$/litro	11.32
Costo de llanta nueva	\$/llanta	1 361.70
Tiempo de operador	\$/hora	44.38
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	31.07
Tasa de interés anual	%	10.00
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.69

Costo de Operación Base (pesos por vehículo-km)

\$ 7.56

Consumo de combustible	\$	1 821.63
Uso de lubricantes	\$	61.71
Consumo de llantas	\$	517.40
Tiempo de operador	\$	515.99
Mano de obra de mantenimiento	\$	946.95
Refacciones	\$	2 357.30
Depreciación	\$	462.85
Interés	\$	185.14
Costos indirectos	\$	687.00

## Camión Articulado (T3-S2-R4)

Tractocamión de tres ejes INTERNATIONAL 9200i con MOTOR DETROIT DIESEL S-60 430 de 430 HP.

Semirremolque de dos ejes y remolque de 4 ejes tipo caja de aluminio de 40 pies.

Llantas 1100-20.00 normal.

Consumos por cada 1000 vehículo-km

Consumo de combustible	litros	753.68
Uso de lubricantes	litros	5.45
Consumo de llantas	núm. llantas nuevas equivalentes	0.64
Tiempo de operador	horas	14.63
Mano de obra de mantenimiento	horas	30.48
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.27
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.07
Intereses (Tasa 10%)	% precio vehículo nuevo	0.03

Costos Unitarios (miles de pesos, precios 2001)

Precio de vehículo nuevo	\$	1 096 178.00
Costo de combustible	\$/litro	3.79
Costo de lubricantes	\$/litro	11.32
Costo de llanta nueva	\$/llanta	1 361.70
Tiempo de operador	\$/hora	44.38
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	31.07
Tasa de interés anual	%	10.00
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.94

Costo de Operación Base (pesos por vehículo-km) \$ 10.32

Consumo de combustible	\$	2 856.44
Uso de lubricantes	\$	61.71
Consumo de llantas	\$	875.77
Tiempo de operador	\$	649.18
Mano de obra de mantenimiento	\$	946.95
Refacciones	\$	2 992.96
Depreciación	\$	709.88
Interés	\$	283.95
Costos indirectos	\$	938.00

## Camión de Tres Ejes

Camión pesado tres ejes DINA 661 con motor CATERPILLAR 3126B EPA 99.  
Carrocería de "estacas" 2.44 x 2.10 m x 22 pies.  
Llantas 1100-20.00 normal.

Consumos por cada 1000 vehículo-km

Consumo de combustible	litros	483.12
Uso de lubricantes	litros	3.37
Consumo de llantas	núm. llantas nuevas equivalentes	0.26
Tiempo de operador	horas	13.76
Mano de obra de mantenimiento	horas	12.44
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.22
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.06
Intereses (Tasa 10%)	% precio vehículo nuevo	0.03

Costos Unitarios (miles de pesos, precios 2001)

Precio de vehículo nuevo	\$	508 300.00
Costo de combustible	\$/litro	3.79
Costo de lubricantes	\$/litro	11.32
Costo de llanta nueva	\$/llanta	1 361.70
Tiempo de operador	\$/hora	38.83
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	31.07
Tasa de interés anual	%	10.00
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.47

Costo de Operación Base (pesos por vehículo-km) \$ 5.16

Consumo de combustible	\$	1 831.02
Uso de lubricantes	\$	38.17
Consumo de llantas	\$	351.51
Tiempo de operador	\$	534.45
Mano de obra de mantenimiento	\$	386.34
Refacciones	\$	1 092.20
Depreciación	\$	323.45
Interés	\$	129.38
Costos indirectos	\$	469.00



## Camión de Dos Ejes

Camión pesado dos ejes DINA 551 con motor CATERPILLAR 3126B EPA 99.  
Carrocería de “estacas” 2.44 x 2.10 m x 21 pies.  
Llantas 1100-20.00 normal.

Consumos por cada 1000 vehículo-km

Consumo de combustible	litros	329.43
Uso de lubricantes	litros	3.37
Consumo de llantas	núm. llantas nuevas equivalentes	0.17
Tiempo de operador	horas	14.00
Mano de obra de mantenimiento	horas	8.18
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.15
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.07
Intereses (Tasa 10%)	% precio vehículo nuevo	0.03

Costos Unitarios (miles de pesos, precios 2001)

Precio de vehículo nuevo	\$	399 500.00
Costo de combustible	\$/litro	3.79
Costo de lubricantes	\$/litro	11.32
Costo de llanta nueva	\$/llanta	1 361.70
Tiempo de operador	\$/hora	38.83
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	31.07
Tasa de interés anual	%	10.00
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.33

Costo de Operación Base (pesos por vehículo-km) \$ 3.59

Consumo de combustible	\$	1 248.55
Uso de lubricantes	\$	38.17
Consumo de llantas	\$	231.75
Tiempo de operador	\$	543.78
Mano de obra de mantenimiento	\$	254.08
Refacciones	\$	584.48
Depreciación	\$	257.78
Interés	\$	103.11
Costos indirectos	\$	326.00

## Autobús Foráneo

Autobús Integral Foráneo con motor CUMMINS ISM 370 de 370 HP.  
Sin aire acondicionado.  
Llantas 1100-22.00 normal.

Consumos por cada 1000 vehículo-km

Consumo de combustible	litros	366.12
Uso de lubricantes	litros	3.37
Consumo de llantas	núm. llantas nuevas equivalentes	0.30
Tiempo de operador	horas	11.45
Mano de obra de mantenimiento	horas	11.06
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.13
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.05
Intereses (Tasa 10%)	% precio vehículo nuevo	0.02

Costos Unitarios (miles de pesos, precios 2001)

Precio de vehículo nuevo	\$	1 559 644.00
Costo de combustible	\$/litro	3.79
Costo de lubricantes	\$/litro	11.32
Costo de llanta nueva	\$/llanta	1 343.00
Tiempo de operador	\$/hora	55.47
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	47.15
Tasa de interés anual	%	10.00
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.62

Costo de Operación Base (pesos por vehículo-km) \$ 6.79

Consumo de combustible	\$	1 387.59
Uso de lubricantes	\$	38.17
Consumo de llantas	\$	407.04
Tiempo de operador	\$	635.14
Mano de obra de mantenimiento	\$	521.38
Refacciones	\$	2 083.78
Depreciación	\$	786.87
Interés	\$	314.75
Costos indirectos	\$	617.00



TABLA B.1.  
**CARGO POR CONCEPTO DE INTERESES PARA DIFERENTES TASAS  
 REALES**  
 (% del precio del vehículo nuevo por cada 1000 veh-km.)

<b>Tasa Real %</b>	<b>Camión Tres Ejes</b>	<b>Camión Dos Ejes</b>	<b>Autobús Foráneo</b>	<b>Vehículo Ligero</b>
2	0.01	0.01	0.00	0.02
4	0.01	0.01	0.01	0.05
6	0.02	0.02	0.01	0.07
8	0.02	0.02	0.02	0.10
10	0.03	0.03	0.02	0.12
12	0.03	0.03	0.02	0.14
14	0.04	0.04	0.03	0.17
16	0.04	0.04	0.03	0.19
18	0.05	0.05	0.04	0.22
20	0.05	0.05	0.04	0.24

<b>Tasa Real %</b>	<b>Camión Articulado (T3-S3)</b>	<b>Camión Articulado (T3-S2)</b>	<b>Camión Articulado (T3-S2-R4)</b>
2	0.00	0.00	0.01
4	0.01	0.01	0.01
6	0.01	0.01	0.02
8	0.02	0.02	0.02
10	0.02	0.02	0.03
12	0.03	0.03	0.03
14	0.03	0.03	0.04
16	0.04	0.03	0.04
18	0.04	0.04	0.05
20	0.05	0.04	0.05



## Ejemplo de aplicación.

---

### Efectos del deterioro de las carreteras en los costos de operación vehicular.

Considérense los tramos Acayucan-Salina Cruz y Mazatlán-Tepic de la red carretera nacional, con los volúmenes de tránsito y composiciones aforados en 2001, en las estaciones que se indican:

TRAMO	TDPA	A	B	C	ESTACIÓN
Acayucan-Salina Cruz	4,639	68%	8%	24%	Palomares
Mazatlán-Tepic	7,805	70%	6%	24%	Acaponeta

En ambos casos la topografía que atraviesan los caminos es sensiblemente plana. Supóngase ahora que, en tres momentos diferentes, el estado superficial de los tramos corresponde a los Índices de Servicio (IS) e Internacional de Rugosidad (IRI) siguientes:

ESTADO SUPERFICIAL	IS	IRI
Muy bueno	4.30	2.0
Regular	3.44	4.0
Malo	2.58	6.0

Los **costos de operación anuales por kilómetro** en cada tramo se calculan, para cada tipo de vehículo, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$COA = Fb \times CB \times TDPA \times 365$$

donde:

**COA** es el costo de operación anual por kilómetro para todos los vehículos de un mismo tipo

**Fb** es el Factor del Costo de Operación Base que se lee de las gráficas para el tipo de vehículo, tipo de terreno y estado superficial deseados

**CB** es el Costo de Operación Base del vehículo, que se obtiene en el apartado correspondiente de esta Publicación

**TDPA** es el Tránsito Diario Promedio Anual del vehículo

**365** corresponde al número de días en el año

A la clasificación "A" de la composición vehicular, corresponde en las gráficas el **Vehículo Ligero**; a la "B", el **Autobús Foráneo** y para la "C", se considera 25% de tractocamiones y 75% de camiones de dos y tres ejes, representados en las gráficas por el **Camión Articulado** y el **Camión de Dos Ejes**, respectivamente.

Los resultados intermedios para llegar a los **costos de operación anuales por kilómetro** en cada tramo, se presentan en las tablas C.1 Y C.2.

Tabla C.1  
**Factores del Costo de Operación Base**  
Terreno sensiblemente plano

Tipo de Vehículo	Estado Superficial		
	Muy bueno	Regular	Malo
Vehículo ligero	1.03	1.09	1.17
Autobús foráneo	1.07	1.13	1.19
Camión de dos ejes	1.09	1.27	1.45
Camión articulado	1.11	1.23	1.35

Es importante resaltar (Tabla C.1) que el incremento porcentual que sufren los vehículos en su costo de operación al transitar sobre caminos progresivamente más deteriorados, es notablemente mayor en los vehículos pesados que en los ligeros. Por ejemplo, en el caso del Camión articulado el incremento al pasar de un camino muy bueno a uno regular es del 12%, elevando su costo base un 24% al circular sobre un camino malo. En el caso del Camión de dos ejes, la diferencia en el costo de operación al transitar sobre un camino regular es del orden del 18% y de un 36% en un camino malo, respecto a un camino en buenas condiciones. Por lo que se refiere a un Vehículo ligero el sobre costo es del 6% si circula en un camino regular y de un 14% al utilizar un camino en mal estado.

Si se consideran los costos en valor monetario (Tabla C.2) obtenidos al multiplicar los factores de la Tabla C.1 por los costos de operación base (apartado correspondiente de esta Publicación), se nota que la influencia del costo base hace que los sobrecostos sean mayores en el caso del camión articulado que en el de dos ejes, aún cuando en porcentaje el incremento sea mayor en este último.

Sobresale también el caso del autobús, que en porcentaje es el que registra los menores incrementos, pero en valor monetario ocupa el segundo lugar en importancia.

En la Tabla C.3 se muestran los **costos por kilómetro** que asumen los propietarios de todos los vehículos que se supone transitan **durante un año** en el tramo Acayucan-Salina Cruz, con base en el TDPA (4,639 vehículos) y su composición mostradas al principio de este apartado. Cuando el camino está en muy buenas condiciones, los costos anuales de los usuarios por kilómetro recorrido son del orden de 5.8 millones de pesos, medio millón de pesos más si el estado es regular y casi seiscientos mil pesos adicionales, si el estado es malo. Hay que destacar que los sobrecostos por kilómetro son considerables para realizar una acción de conservación eficaz con vida útil de varios años.

Tabla C.2  
**Costos de Operación**  
 (\$/veh-km)

Tipo de Vehículo	Estado Superficial		
	Muy bueno	Regular	Malo
Vehículo ligero	2.29	2.42	2.60
Autobús foráneo	7.26	7.64	8.07
Camión de dos ejes	3.92	4.57	5.21
Camión articulado	9.17	10.14	11.17

Tabla C.3  
**Acayucan-Salina Cruz**  
 Costos de Operación del Tránsito Anual  
 (Millones de pesos/km)

Tipo de Vehículo	Estado Superficial		
	Muy bueno	Regular	Malo
Vehículo ligero	2.637	2.786	2.994
Autobús foráneo	0.983	1.035	1.093
Camión de dos ejes	1.195	1.393	1.588
Camión articulado	0.932	1.030	1.135
<b>Tránsito Anual</b>	<b>5.747</b>	<b>6.244</b>	<b>6.810</b>

Para el caso Mazatlán-Tepic, considerando el TDPA (7,805 vehículos) y la composición mostrada al inicio de este apartado, los **costos de operación por kilómetro** de todos los vehículos que se supone circulan **en un año**, son los que aparecen en la Tabla C.4. Casi 9.4 millones de pesos cuando el camino está en muy buen estado, ochocientos mil pesos más por kilómetro si la superficie guarda un estado regular y novecientos mil pesos por kilómetro, adicionales a lo anterior, cuando el estado superficial de la carretera es malo. En este caso, también los sobrecostos cubren, sin duda, el costo de una conservación eficaz diseñada para un periodo prolongado.

Como puede observarse, los sobrecostos de operación de casi el doble en el tramo Mazatlán-Tepic con respecto al de Acayucan-Salina Cruz (Tabla C.5) son debidos a casi el doble del tránsito anual de este último y a una mayor presencia absoluta de camiones, aún cuando su composición vehicular es prácticamente igual en términos porcentuales.



Tabla C.4  
**Mazatlán-Tepic**  
 Costos de Operación del Tránsito Anual  
 (Millones de pesos/km)

Tipo de Vehículo	Estado Superficial		
	Muy bueno	Regular	Malo
Vehículo ligero	4.567	4.826	5.185
Autobús foráneo	1.241	1.306	1.379
Camión de dos ejes	2.010	2.343	2.672
Camión articulado	1.567	1.733	1.909
<b>Tránsito Anual</b>	<b>9.385</b>	<b>10.208</b>	<b>11.145</b>

Tabla C.5  
**Sobrecostos de Operación Anuales por km**  
 (Millones de pesos y porcentaje)

Tramo	Muy bueno-Regular		Regular-Malo	
	\$	%	\$	%
Acayucan-Salina Cruz	0.497	8.65	0.566	9.06
Mazatlán-Tepic	0.823	8.77	0.937	9.18

Para tener una idea aproximada del sobrecosto que tiene un camino en malas condiciones respecto a otro que está en buenas condiciones se dirá que, un tramo supuesto de 100 km del camino Acayucan-Salina Cruz, cuesta ciento seis millones de pesos adicionales cada año sobre el costo de operación normal. En el camino Mazatlán-Tepic, un tramo de la misma longitud en mal estado, representaría para el País un sobrecosto de operación del orden de ciento setenta y seis millones de pesos anuales.

## **Conclusiones y recomendaciones.**

---

A manera de conclusión, se puede decir que la aproximación a la realidad de los resultados de este trabajo ha sido buena, ya que se ha tomado como referencia información real que valida los mismos. Desde luego, siempre será importante desarrollar estudios de campo más completos y conocer más sobre las prácticas de utilización de los vehículos por parte de las empresas transportistas.

Finalmente, se hacen las últimas reflexiones y recomendaciones referentes al ejemplo de aplicación mostrado y que, se considera, serán muy útiles a los responsables de la toma de decisiones en la construcción y conservación de carreteras y a los especialistas en su planeación.

Los cálculos, representativos de situaciones reales, permiten afirmar que el gasto adicional por kilómetro, debido a la ausencia de una conservación eficaz (ausencia de conservación o conservación inadecuada), cubre con suficiencia los montos necesarios para mantener índices de servicio altos (rugosidades bajas), por periodos de tiempo razonablemente prolongados. En otras palabras, un supuesto ahorro aplicando acciones de conservación baratas, que no atacan los problemas de raíz, pero que alcanzan para "hacer algo" en el mayor número de kilómetros, costaría varios millones de pesos al País, por el costo adicional de operación que significa para los usuarios recorrer caminos que rápidamente alcanzarían índices de servicio bajos (rugosidades altas). Es conveniente, en términos generales, aplicar diseños con periodos útiles prolongados cada vez que sea posible pues, por alto que sea su costo, rápidamente será recuperado por el País, al reducirse los costos de operación de los usuarios.

En términos de diseño y construcción iniciales, resulta también conveniente gastar más en la construcción de las carreteras para tener estructuras estables y pavimentos resistentes y con ello caminos más durables, con menos interrupciones al tránsito para su conservación y, por tanto, más seguros y acumulativamente más económicos para los usuarios y el País en general, que gastar menos en la inversión inicial, buscando un ahorro fugaz y repercutiendo en altos costos de conservación a la dependencia responsable y de operación a los usuarios y, por ende, al País en su conjunto durante toda la vida útil del camino.

Habrán casos, sin duda, en los que la conclusión no será favorable al realizar una mayor inversión inicial en construcción o en conservación. La recuperación o justificación de ésta, gracias a la reducción de costos de operación, puede variar en forma importante e incluso no darse en el periodo de vida útil de un camino. Ello dependerá, por supuesto, de las magnitudes del tránsito, de su composición, de su crecimiento anual, de los ritmos del deterioro de los caminos y del tamaño de los montos de inversión implicados.



## **Bibliografía.**

---

Aguerreberre Salido, R., Cepeda Narváez, F., Publicación Técnica No. 20 "Elementos de Proyecto y Costos de Operación en Carreteras", Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 1991.

Aguerreberre Salido, R., Cepeda Narváez F., Publicación Técnica No. 30, "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras", Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 1991.

Archondo-Callao, R., Vehicle Operating Costs Model, VOC. Versión 3.0, 1989.

Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), Boletín 424, Marzo de 2001, México, D.F.

Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones, A.C. (ANPACT), Boletín No. 100, Marzo de 2001, México, D.F.

Banco Mundial, "El deterioro de los caminos en los países en desarrollo. Causas y soluciones", Estudio de Políticas del Banco Mundial, Washington, E.U., 1988.

Bein, Peter, "Adapting HDM-3 User Cost Model to Saskatchewan Pavement Management Information System", Transportation Research Record 1229, Washington, E.U., 1989.

Bennett, C. R. and Paterson, William D. O., Documentation of HDM-4, Version 1.0, International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM), United Kingdom, 2000.

Chesher, A. and Harrison, R., Vehicle Operating Costs evidence from developing countries, The World Bank, 1987.

Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF), SCT, Estadística Básica del Autotransporte Federal 1999, México, D.F.

Durán, G., Modelo VOCMEX, Traducción de Vehicle Operating Costs Model, versión 3.0, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 1994.

Rafael Morales, Mercedes Y., Información recopilada de los cursos de capacitación de conducción técnica de vehículos automotores diesel, impartidos por investigadores del Área de Ahorro de Energía de la Coordinación de Equipamiento para el Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, 1997-1999, Sanfandila, Querétaro, México.

Téllez Gutiérrez, R., "Catálogo de deterioros en pavimentos flexibles de carreteras mexicanas", Publicación Técnica No.21, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 1991.

Watanatada, T., Dhareshwar, A. M. and Rezende Lima, P. R., Vehicle Speeds and Operating Costs, Models for Road Planning and Management, The World Bank, 1987.

Watanatada, T., Harral, C. G., Paterson, William D. O., Dhareshwar, A. M., Bhandari, A. and Tsunokawa, K., The Highway Design and Maintenance Standards Model, Volume 1 y 2, The World Bank, 1987.

#### Fuentes

- Diversas agencias autorizadas DINA, Mercedes-Benz, International, Volvo y MAREQSA
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI (portal en Internet).
- Petróleos Mexicanos, PEMEX (portal en Internet).
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT (portal en Internet).
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público, SHCP (portal en Internet).

## Apéndice A: Información técnica de los vehículos utilizados.

La siguiente información se proporciona con la intención de ofrecer las características técnicas de los vehículos utilizados para realizar los cálculos mediante el programa VOCMEX, más algunos datos adicionales complementarios al trabajo.

Unidad	T3-S3	T3-S2	T3-S2-R4	C3	C2	AUTOBÚS	VEHÍCULO LIGERO
Marca del Vehículo	International 9200i	International 9200i	International 9200i	Dina 661	Dina 551	Busscar	Panel Volkswagen (Combi)
Peso del Vehículo Vacío (kg)	19,436	17,436	29,436	8,800	6,100	15,275	1,300
Carga Útil (kg)	35,109	25,000	48,000	17,282	9,776	5,974	700
Potencia Neta del Motor (HP)	430	430	430	250	175	370	86
Área Frontal Proyectada (m <sup>2</sup> )	9.136	9.136	9.136	6.999	6.999	7.722	2.941
Velocidad Calibrada del Motor (rpm)	1,700	1,700	1,700	2,100	2,100	1,700	3,700
Equipo de Carga	Semirremol que 3 ejes 40 pies	Semirremol que 2 ejes 40 pies	Semirrem. y Rem. 2 y 4 ejes 40 pies	Carrocería Estacas 22 pies	Carrocería Estacas 21 pies	Cabina de Equipaje	Sin Equipo de Carga Adicional
Tipo de Llantas	1100-20.00 normales	1100-20.00 normales	1100-20.00 normales	1100-20.00 normales	1100-20.00 normales	1100-22.00 normales	Goodyear normales
Costo de la Llanta Nueva (\$)	1,361.70	1,361.70	1,361.70	1,361.70	1,361.70	1,343.00	527.85
Costo de la Llanta Renovada (\$)	607.50	607.50	607.50	607.50	607.50	633.90	229.60
Precio del Vehículo Nuevo (\$)	896,089.19	863,364.19	1'096,178.00	508,300.00	399,500.00	1'559,644.00	149,683.00

Fuente: Diversas agencias autorizadas DINA, Mercedes-Benz, International, VOLVO, MAREQSA, y empresas fabricantes y renovadoras de neumáticos como Goodyear, Uniroyal y Firestone.

### Notas:

El Área Frontal Proyectada de los vehículos se obtiene restando el área que se encuentra en la parte de abajo del Chasis.

Precios unitarios actualizados al 2001.

Todos los precios están libres de impuestos.



## Apéndice B: Velocidades, consumos y rendimientos de combustible (prácticos), de algunos tractocamiones.

La presente tabla muestra información, obtenida en campo, sobre algunos tractocamiones.

RECORRIDO	UNIDAD	MODELO	CARGA (ton)	VELOCIDAD (km/hr)	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (lt)	RENDIMIENTO (km/lt)
Sn. J. del Río-Cd. de Méx.-Sn. J. del Río	T3-S3	1989	30	58.16	193.68	1.56
Querétaro-Pinal de Amoles-Querétaro	T3-S2	1993	30	48.36	436.31	0.73
Tramo sobre la carretera Querétaro-S.L.P.	T3-S2	1989	20	75.00	176.00	2.06
Oaxaca-Yanhuitlán-Oaxaca	T3-S3	1993	31	43.09		
Cd. Mante-Cd. Victoria-Cd. Mante	T3-S2	1991		56.55	164.00	1.58
Cd. Mante-Cd. Victoria-Cd. Mante	T3-S3	1974	37	59.10	200.48	1.31
Cd. Mante-El Salvador-Cd. Mante	T3-S3	1974	37	53.50	71.50	1.19
Veracruz-La Joya-Veracruz	T3-S3	1974		32.22	248.40	1.08
Veracruz-La Joya-Veracruz	T3-S3	1992		32.25	265.00	1.01
Veracruz-Casablanca-Veracruz	T3-S2	1974	14	45.16	141.00	2.02
Veracruz-Perote-Veracruz	T3-S2	1994	2 SR	42.13	219.63	1.46

Fuente: Rafael Morales, Mercedes Y., Información recopilada de los cursos de capacitación de conducción técnica de vehículos automotores diesel, impartidos por investigadores del Área de Ahorro de Energía de la Coordinación de Equipamiento para el Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, 1997-1999, Sanfandila, Querétaro, México.

### Nota:

SR: Semirremolque.

La información corresponde a los Cursos de Capacitación en la Metodología de Conducción Técnica de Vehículos Automotores Diesel impartidos por personal de la Coordinación de Equipamiento para el Transporte del IMT a diversas empresas de autotransporte durante el periodo 1997-1999.

Nótese que los datos son muy semejantes a los obtenidos mediante el programa VOCMEX, dependiendo del tipo de terreno. Por ejemplo, para la ruta Querétaro-Pinal de Amoles-Querétaro, se tiene una velocidad de 48.36 km/hr en la práctica y 49.17 km/hr en la corrida del programa VOCMEX, para un vehículo de ese tipo.





## Apéndice C: Costo del flete de algunas empresas dedicadas al transporte de carga.

En los cuadros siguientes se presentan las rutas para algunos tractocamiones con su Costo de Flete respectivo, y el Costo del Flete en \$/km, proporcionados por las empresas ROADWAY, SCHNEIDER, Transportadora Hercel, S.A. de C.V., Figo Transport, S.A. de C.V., Transportes GYM, Transportadora Nacional, S.A. de C.V., Autoagrupación de Líneas, S.A. de C.V., Transportes Escobedo, GRUPO NASA, S.A. de C.V., Centauros del Sureste, S.A. de C.V., TRAS LADA, S.A. de C.V., Transportes EASO, S.A. de C.V., Transportes PITIC, Transportes Grijalva, S.A. de C.V., Transportación Terrestre Nacional y Autolíneas América.

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 1  (Caja de 48 ft)	México-Nuevo-Laredo	\$ 599.30 USD
	Nuevo Laredo-México	\$ 985.50 USD
	México-Cd. Juárez	\$ 1 592.92 USD
	Cd. Juárez-México	\$ 1 887.45 USD
	México-Querétaro	\$ 400.85 USD
	Querétaro-México	\$ 365.50 USD
	México-Nuevo Laredo	\$ 610.99 USD
	Nuevo Laredo-México	\$ 993.50 USD

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 2  (Caja de 40 ft)	México-Nuevo-Laredo	\$ 5 000.00-6 500.00
	Nuevo Laredo-México	\$ 8 700.00-9 500.00
	México-Monterrey	\$ 5 750.00-7 300.00
	Monterrey-México	\$ 5 300.00-5 600.00

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 3  (Caja de 40 ft)	México-Nuevo-Laredo	\$ 5 000.00
	Nuevo Laredo-México	\$ 9 000.00
	México-Querétaro	\$ 4 000.00
	Querétaro-México	\$ 3 700.00

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 4  (Caja de 40 ft)	México-Nuevo-Laredo	\$ 9 500.00
	Nuevo Laredo-México	\$ 12 300.00
	México-Querétaro	\$ 4 000.00
	Querétaro-México	\$ 4 000.00

*Estado superficial y costos de operación en carreteras.*

---

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 5	México-Nuevo-Laredo	\$ 7 000.00
	Nuevo Laredo-México	\$ 10 000.00
(Caja de 40 ft)	México-Querétaro	\$ 4 000.00
	Querétaro-México	\$ 3 500.00

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 6	México-Nuevo-Laredo	\$ 11 770.00
	Nuevo Laredo-México	\$ 12 850.00
(Caja de 40 ft)	México-Cd. Juárez	\$ 18 786.00
	Cd. Juárez-México	\$ 20 528.00
	México-Querétaro	\$ 4 900.00
	Querétaro-México	\$ 4 500.00

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 7	Querétaro-Guadalajara	\$ 4 900.00
(Caja de 40 ft)	Guadalajara-Querétaro	\$ 4 200.00

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 8	México-Nuevo Laredo	\$ 10 500.00
(Torton de 15 ton)	Nuevo Laredo-México	\$ 12 700.00

**Nota:** El Costo del Flete no incluye el IVA.

Tipo de Cambio: 1 Dólar=\$ 9.20 M.N.

**Distancia entre las ciudades:**

México-Nuevo Laredo	1 187 km
México-Cd. Juárez	1 820 km
México-Monterrey	989 km
México-Querétaro	215 km
Querétaro-Guadalajara	365 km

**Costo del Flete (\$/km) para las rutas de las empresas:**

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 1  (Caja de 48 ft)	México-Nuevo-Laredo	\$ 4.64
	Nuevo Laredo-México	\$ 7.64
	México-Cd. Juárez	\$ 8.05
	Cd. Juárez-México	\$9.54
	México-Querétaro	\$ 17.15
	Querétaro-México	\$ 15.64
	México-Nuevo Laredo	\$ 4.74
	Nuevo Laredo-México	\$ 7.70

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 2  (Caja de 40 ft)	México-Nuevo-Laredo	\$ (4.21-5.48)
	Nuevo Laredo-México	\$ (7.33-8.00)
	México-Monterrey	\$ (5.81-7.38)
	Monterrey-México	\$ (5.36-5.66)

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 3  (Caja de 40 ft)	México-Nuevo-Laredo	\$ 4.21
	Nuevo Laredo-México	\$ 7.58
	México-Querétaro	\$ 18.60
	Querétaro-México	\$ 17.21

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 4  (Caja de 40 ft)	México-Nuevo-Laredo	\$ 8.00
	Nuevo Laredo-México	\$ 10.36
	México-Querétaro	\$ 18.60
	Querétaro-México	\$ 18.60

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 5  (Caja de 40 ft)	México-Nuevo-Laredo	\$ 5.90
	Nuevo Laredo-México	\$ 8.42
	México-Querétaro	\$ 18.60
	Querétaro-México	\$ 16.28

*Estado superficial y costos de operación en carreteras.*

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 6.  (Caja de 40 ft)	México-Nuevo-Laredo	\$ 9.92
	Nuevo Laredo-México	\$ 10.83
	México-Cd. Juárez	\$ 10.32
	Cd. Juárez-México	\$ 11.28
	México-Querétaro	\$ 22.79
	Querétaro-México	\$ 20.93

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 7	Querétaro-Guadalajara	\$ 13.42
(Caja de 40 ft)	Guadalajara-Querétaro	\$ 11.51

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 8	México-Nuevo Laredo	\$ 8.85
(Torton de 15 ton)	Nuevo Laredo-México	\$ 10.70

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 9  (Caja de 40 ft)	México-Veracruz	\$ 14 500.00
	Veracruz-México	\$ 14 500.00
	México-Villahermosa	\$ 12 000.00
	Villahermosa-México	\$ 12 000.00
	México-Mérida	\$ 15 500.00
	Mérida-México	\$ 15 500.00

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 10  (Caja de 40 ft)	México-Veracruz	\$ 9 500.00
	Veracruz-México	\$ 9 000.00
	México-Tuxtla Gutiérrez	\$ 15 000.00
	Tuxtla Gutiérrez-México	\$ 14 000.00

*Apéndice C: Costo del flete (práctico) de algunas empresas dedicadas al transporte de carga.*

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 11	México-Veracruz	\$ 8 000.00
	Veracruz-México	\$ 8 000.00
(Caja de 40 ft)	México-Guadalajara	\$ 9 500.00
	Guadalajara-México	\$ 8 500.00

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 12	México-Tuxtla Gutiérrez	\$ 13 500.00
(Caja de 40 ft)	Tuxtla Gutiérrez-México	\$ 10 000.00
	(viaje redondo)	\$ 21 000.00

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 13	México-Mérida	\$ 18 000.00
(Caja de 40 ft)	Mérida-México	\$ 16 000.00

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 14	México-Tuxtla Gutiérrez	\$ 14 500.00
(Caja de 40 ft)	Tuxtla Gutiérrez-México	\$ 13 500.00
	(sobre 28 ton)	\$ 16 000.00
	(sobre 28 ton)	\$ 14 500.00

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 15	México-Veracruz	\$ 9 000.00
(Caja de 40 ft)	(no tienen viajes de regreso)	

**Nota:** El Costo del Flete no incluye el IVA.

Tipo de Cambio: 1 Dólar=\$ 9.20 M.N.

**Distancia entre las ciudades:**

México-Tuxtla Gutiérrez	1 030 km
México-Veracruz	433 km
México-Villahermosa	913 km
México-Mérida	1 458 km
México-Guadalajara	580 km

**Costo del Flete (\$/km) para las rutas de las empresas:**

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 9	México-Veracruz	\$ 33.49
	Veracruz-México	\$ 33.49
(Caja de 40 ft)	México-Villahermosa	\$ 13.14
	Villahermosa-México	\$ 13.14
	México-Mérida	\$ 10.63
	Mérida-México	\$ 10.63

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 10	México-Veracruz	\$ 21.94
	Veracruz-México	\$ 20.79
(Caja de 40 ft)	México-Tuxtla Gutiérrez	\$ 14.56
	Tuxtla Gutiérrez-México	\$ 13.59

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 11	México-Veracruz	\$ 18.48
	Veracruz-México	\$ 18.48
(Caja de 40 ft)	México-Guadalajara	\$ 16.38
	Guadalajara-México	\$ 14.66

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 12	México-Tuxtla Gutiérrez	\$ 13.11
	Tuxtla Gutiérrez-México	\$ 9.71
(Caja de 40 ft)	(viaje redondo)	\$ 10.19

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 13	México-Mérida	\$ 12.35
(Caja de 40 ft)	Mérida-México	\$ 10.97

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 14	México-Tuxtla Gutiérrez	\$ 14.08
	Tuxtla Gutiérrez-México	\$ 13.11
(Caja de 40 ft)	(sobre 28 ton)	\$ 15.53
	(sobre 28 ton)	\$ 14.08

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 15	México-Veracruz	\$ 20.79
(Caja de 40 ft)	(no tienen viajes de regreso)	

Empresa	Ruta	Costo del Flete
Empresa 16  (Caja de 40 ft)	México-Nuevo-Laredo	\$ 6 500.00
	Nuevo Laredo-México	\$ 10 000.00
	Monterrey-Nuevo Laredo	\$ 220.00 USD
	Nuevo Laredo-Monterrey	\$ 250.00 USD
	México-Querétaro	\$ 35 000.00
	Guadalajara-Nuevo Laredo	\$ 6500.00
	Nuevo Laredo-Guadalajara	\$ 10 500.00

**Nota:** El Costo del Flete no incluye el IVA.

Tipo de Cambio: 1 Dólar=\$ 9.20 M.N.

### Distancia entre las ciudades:

México-Nuevo Laredo	1 187 km
Monterrey-Nuevo Laredo	230 km
Nuevo Laredo-Cancún	2 590 km
Guadalajara-Nuevo Laredo	1 007 km

### Costo del Flete (\$/km) para las rutas de las empresas:

Empresa	Ruta	Costo del Flete (\$/km)
Empresa 16  (Caja de 40 ft)	México-Nuevo-Laredo	\$ 5.48
	Nuevo Laredo-México	\$ 8.42
	Monterrey-Nuevo Laredo	\$ 8.80
	Nuevo Laredo-Monterrey	\$ 10.00
	México-Querétaro	\$ 13.51
	Guadalajara-Nuevo Laredo	\$ 6.45
	Nuevo Laredo-Guadalajara	\$ 10.43

### Nota:

Información actualizada al 2001.

Las cotizaciones del costo de los fletes fueron hechas con base en una carga de 20 toneladas de maíz y frijol y no incluyen maniobras de carga y descarga de la mercancía.

Obsérvese que para la ruta México-Querétaro se tiene un Costo de Flete Promedio de 18.21 \$/km según las cotizaciones, mientras el Costo de Operación calculado mediante las herramientas presentadas en este trabajo para un T3-S3 es de 10.14 \$/km y para un T3-S2 es de 9.14 \$/km, para un tipo de terreno semejante. Para la ruta México-Veracruz se tiene un Costo de Flete Promedio de 23.68 \$/km, mientras el Costo de Operación calculado para un T3-S3 es de 12.52 \$/km y para un T3-S2 es de 10.95 \$/km, para un tipo de terreno semejante.



Es importante mencionar que el Costo del Flete varía según la ruta y el tamaño de la empresa pero también según la temporada del año y el balance direccional de los flujos (mercado), así como el Costo de Operación varía para los diferentes tipos de terreno. Comparando los Costos de los diferentes Fletes con los Costos de Operación obtenidos con el programa VOCMEX, estos últimos se consideran aceptables.



**CIUDAD DE MEXICO**

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

**SANFANDILA**

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

Internet: <http://www.imt.mx>  
[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)