ISSN 0188-7297

SCT
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2019

José Antonio Arroyo Osorno
Guillermo Torres Vargas
José Alejandro González García
Salvador Hernández García

Publicación Técnica No. 573
Sanfandila, Qro. 2020

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2019

Publicación Técnica No. 573
Sanfandila, Qro. 2020

La presente investigación es el producto final del proyecto de investigación interna *OI-03/19 Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2019* y constituye la décima edición actualizada, cuya idea original dio como resultado en 1991, la publicación técnica no. 30.

Esta edición 2019 fue elaborada por José Antonio Arroyo Osorno, con la colaboración del Dr. Guillermo Torres Vargas, José Alejandro González García y Salvador Hernández García, investigadores de la División de Estudios Económicos y Sociales del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

La información sobre velocidades, consumos y rendimientos de combustible (prácticos) de algunos tractocamiones, proporcionada por Mercedes Yolanda Rafael Morales, fue muy útil para la realización de este trabajo.

Contenido

	Página
Índice de tablas	iii
Índice de figuras	v
Sinopsis	vii
Abstract	ix
Resumen ejecutivo	xi
1 Introducción	1
2 Gráficas	3
2.1 Gráficas para diferentes tipos de terreno	3
3 Indicadores del estado superficial	13
4 Nota metodológica	17
4.1 Datos utilizados	26
4.1.1 Camión articulado (T3-S3)	26
4.1.2 Camión articulado (T3-S2)	29
4.1.3 Camión articulado (T3-S2-R4)	32
4.1.4 Camión de tres ejes	35
4.1.5 Camión de dos ejes	38
4.1.6 Autobús foráneo	41
4.1.7 Vehículo ligero	44
5 Cálculo de los costos de operación base	47
5.1 Resultados	47
5.1.1 Camión articulado (T3-S3)	48

5.1.2 Camión articulado (T3-S2) 49

5.1.3 Camión articulado (T3-S2-R4) 50

5.1.4 Camión de tres ejes 51

5.1.5 Camión de dos ejes 52

5.1.6 Autobús foráneo 53

5.1.7 Vehículo ligero 54

6 Ejemplo de aplicación 57

7 Conclusiones y recomendaciones 61

Bibliografía 63

Anexo 1 Información técnica de los vehículos utilizados 65

Anexo 2 Velocidades, consumos y rendimientos de combustible (prácticos), de algunos tractocamiones 67

Anexo 3 Costo del flete de algunas empresas dedicadas al transporte de carga 69

Índice de tablas

	Página
4.1 Velocidad de Operación-Camión Articulado (T3-S3)	19
4.2 Costos de Operación-Camión Articulado (T3-S3)	19
4.3 Factores del Costo Base-Camión Articulado (T3-S3)	19
4.4 Velocidad de Operación-Camión Articulado (T3-S2)	20
4.5 Costos de Operación-Camión Articulado (T3-S2)	20
4.6 Factores del Costo Base-Camión Articulado (T3-S2)	20
4.7 Velocidad de Operación-Camión Articulado (T3-S2-R4)	21
4.8 Costos de Operación-Camión Articulado (T3-S2-R4)	21
4.9 Factores del Costo Base-Camión Articulado (T3-S2-R4)	21
4.10 Velocidad de Operación-Camión de Tres Ejes	22
4.11 Costos de Operación-Camión de Tres Ejes	22
4.12 Factores del Costo Base-Camión de Tres Ejes	22
4.13 Velocidad de Operación-Camión de Dos Ejes	23
4.14 Costos de Operación-Camión de Dos Ejes	23
4.15 Factores del Costo Base-Camión de Dos Ejes	23
4.16 Velocidad de Operación-Autobús Foráneo	24
4.17 Costos de Operación-Autobús Foráneo	24
4.18 Factores del Costo Base-Autobús Foráneo	24
4.19 Velocidad de Operación-Vehículo Ligero	25
4.20 Costos de Operación-Vehículo Ligero	25
4.21 Factores del Costo Base-Vehículo Ligero	25
4.22 Datos de Entrada-Camión Articulado (T3-S3)	26

4.23 Datos de Entrada-Camión Articulado (T3-S2) 29

4.24 Datos de Entrada-Camión Articulado (T3-S2-R4) 32

4.25 Datos de Entrada-Camión de Tres Ejes 35

4.26 Datos de Entrada-Camión de Dos Ejes 38

4.27 Datos de Entrada-Autobús Foráneo 41

4.28 Datos de Entrada-Vehículo Ligero 44

5.1 Datos de Salida-Camión Articulado (T3-S3) 48

5.2 Datos de Salida-Camión Articulado (T3-S2) 49

5.3 Datos de Salida-Camión Articulado (T3-S2-R4) 50

5.4 Datos de Salida-Camión de Tres Ejes 51

5.5 Datos de Salida-Camión de Dos Ejes 52

5.6 Datos de Salida-Autobús Foráneo 53

5.7 Datos de Salida-Vehículo Ligero 54

5.8 Cargo por concepto de intereses para diferentes tasas reales 55

6.1 Factores del costo de operación base (Ejemplo de aplicación) 58

6.2 Costos de operación (Ejemplo de aplicación) 59

6.3 Coatzacoalcos-Salina Cruz (Ejemplo de aplicación) 59

6.4 Mazatlán-Tepic (Ejemplo de aplicación) 60

6.5 Sobrecostos de operación anuales por km (Ejemplo de aplicación) 60

Índice de figuras

	Página
2.1 Aspecto de tres tramos homogéneos con diferentes niveles de curvatura acumulada	4
2.2 Factores del Costo de Operación para el T3-S3	5
2.3 Velocidades de Operación para el T3-S3	5
2.4 Factores del Costo de Operación para el T3-S2	6
2.5 Velocidades de Operación para el T3-S2	6
2.6 Factores del Costo de Operación para el T3-S2-R4	7
2.7 Velocidades de Operación para el T3-S2-R4	7
2.8 Factores del Costo de Operación para el C3	8
2.9 Velocidades de Operación para el C3	8
2.10 Factores del Costo de Operación para el C2	9
2.11 Velocidades de Operación para el C2	9
2.12 Factores del Costo de Operación para el Autobús	10
2.13 Velocidades de Operación para el Autobús	10
2.14 Factores del Costo de Operación para el Vehículo Ligero	11
2.15 Velocidades de Operación para el Vehículo Ligero	11
3.1 Escala del Índice Internacional de Rugosidad	14
3.2 Conversiones aproximadas entre las principales escalas de rugosidad	15
3.3 Equivalencias entre la escala del Índice Internacional de Rugosidad y desviaciones con respecto a reglas de 2m y 3 m de longitud	16

Sinopsis

El objetivo del presente 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 publicación ha tomado como referencia los modelos matemáticos desarrollados por el Banco Mundial en 1987 (The Highway Design and Maintenance Standards Model, version 3 - HDM III), con los cuales posteriormente se estructuró un programa de cómputo denominado *Vehicle Operating Costs* (VOC, por sus siglas en inglés). El VOC considera la adaptación de nuevas expresiones matemáticas para el HDM-4.

A partir del uso de los modelos matemáticos mencionados, mediante la nueva versión del programa de cómputo VOC (programa conformado a partir de los modelos del Banco Mundial, versión 4.0) y de una actualización de datos diversos sobre características técnicas, precios e insumos de los vehículos en México, se conformó un conjunto de gráficas; las cuales permiten estimar los costos de operación vehicular para siete tipos de unidades, bajo condiciones diversas de alineamiento geométrico y estado superficial de las carreteras. Los datos presentados en el trabajo pueden emplearse 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 (The Highway Design and Maintenance Standards Model, version 3 - HDM III), which gave origin to the software called Vehicle Operating Costs (VOC). The VOC considers new mathematical expressions developed for the HDM-4 software.

From the use of the World Bank models through the VOC (new version 4.0) 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

Este trabajo surgió como una necesidad ante la importancia de contar con herramientas actualizadas para calcular costos de operación vehicular (sus antecedentes se remiten a las publicaciones técnicas: 20, 30, 202, 282, 316, 337, 368, 407, 471 y 526 del IMT), manifiesta por la permanente recepción de solicitudes al respecto por parte de empresas de consultoría y gobiernos estatales, así como, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (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.), así como, 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.

Asimismo, se muestra un conjunto de gráficas acerca 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.

También, 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, el cual 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 se ha tratado de eliminar la referencia a un precio variable. Con fines ilustrativos se incluyó la relación entre velocidad típica de operación y rugosidad o índice de servicio.

Se emplearon nuevas expresiones matemáticas para los datos referentes a la potencia máxima en operación y la potencia máxima del freno de los vehículos, obtenidas de la revisión del reciente material bibliográfico del modelo HDM (The Highway Design and Maintenance Standards Model) en su versión 4; ya que, estas ofrecieron resultados más acordes con lo observado en la práctica. Además, se actualizó la información sobre el número de kilómetros y horas recorridas al

año, así como, la edad promedio del vehículo utilitario o ligero, derivada de los cambios en la operación de las flotas de las empresas para este tipo de vehículo.

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

El presente estudio 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.

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

Por último, el documento se complementa con tres anexos:

En el Anexo 1 se presenta la información técnica de cada uno de los vehículos utilizados en este estudio.

El Anexo 2 incluye información de campo sobre velocidades, consumos y rendimientos de combustible de algunos tractocamiones que permiten validar los resultados intermedios obtenidos por el modelo.

Por último, el Anexo 3 hace referencia al costo de fletes para algunos trayectos de empresas dedicadas al transporte de carga, la cual se utilizó para validar los resultados finales.

1 Introducción

La División de Estudios Económicos y Sociales del Transporte del IMT presenta la actualización de los *costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano* en México 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. El proyecto tomó como referencia los modelos matemáticos desarrollados por el Banco Mundial en 1987, con los cuales se estructuró un programa de cómputo denominado Costos de Operación Vehicular (VOC, por sus siglas en inglés), mismo que se usará, en su versión más reciente (4.0), como herramienta principal para la actualización.

El desarrollo de la investigación 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 actualizaron al año 2019.

Es importante recordar que el Estudio de Normas para el Diseño y Mantenimiento de Carreteras fue desarrollado 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)

Al revisar 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 respecto 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, mediante 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 relativos a la utilización de los vehículos.

2 Gráficas

2.1 Gráficas para diferentes tipos de terreno

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.

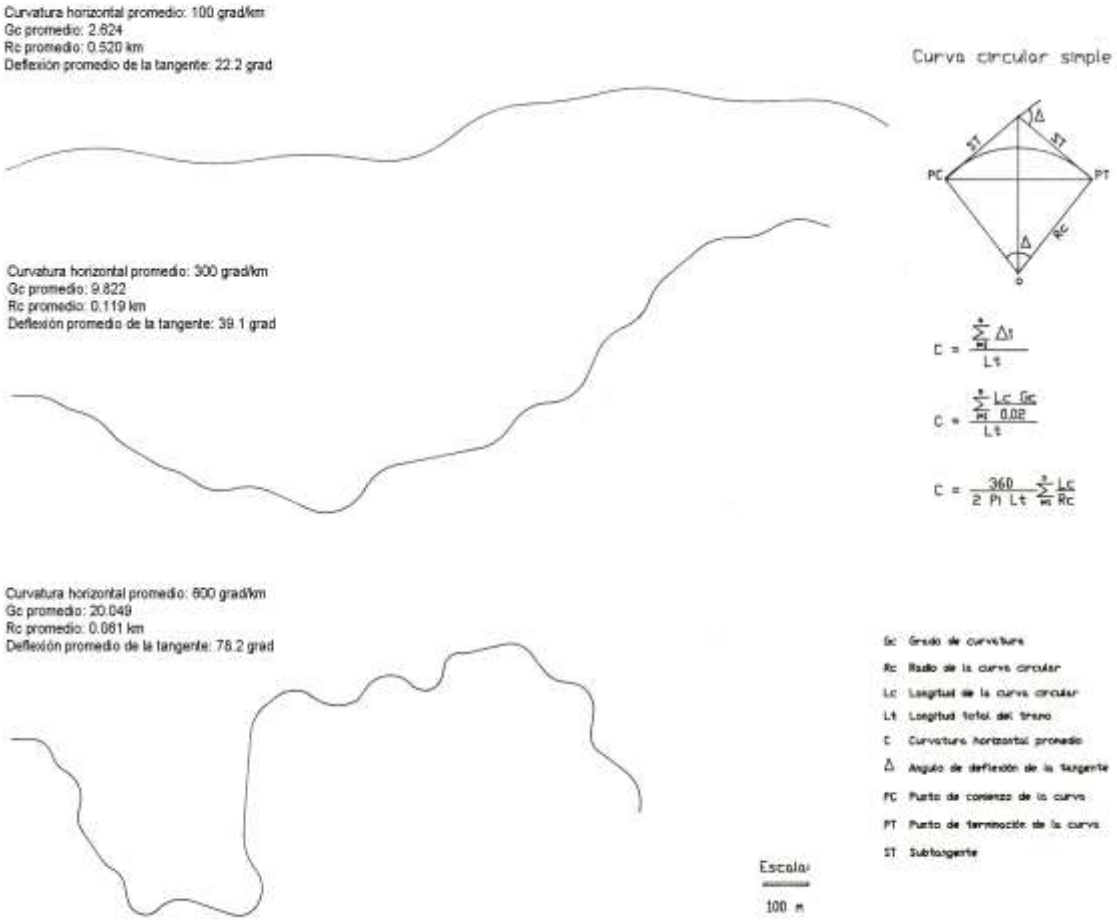
Las gráficas del primer tipo muestran en la parte superior de las figuras la relación entre el estado de la superficie de rodamiento -en términos del Índice de Servicio y el Índice Internacional de Rugosidad-, así como, el costo de operación del vehículo como un factor de su costo de operación base, 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 sólo 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 fue incluido en las gráficas.

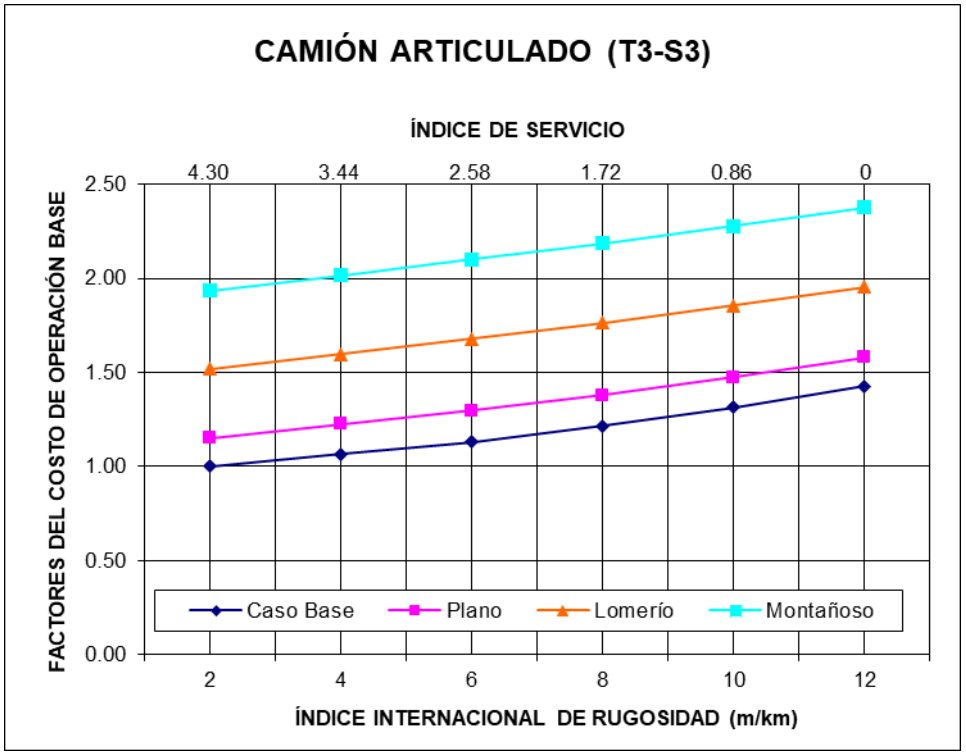
En ambas gráficas, las pendientes y curvaturas horizontales que corresponden a cada tipo de terreno son de 1% y 100°/km respectivamente, para el caso plano; de 3% y de 300°/km, para terreno de lomerío; y de 5% y 700°/km, para terreno montañoso. Al caso base le corresponden pendientes y curvaturas nulas.

El concepto de curvatura manejado corresponde a una curvatura media en un tramo representativo, que es calculado como la suma de los ángulos de deflexión en valor absoluto (o ángulos centrales de las curvas) dividida entre la longitud del tramo, y expresado en grados por kilómetro. La figura 2.1 corresponde al plano horizontal de tres tramos considerados homogéneos con sus respectivas características geométricas, para diferentes niveles de curvatura media acumulada.



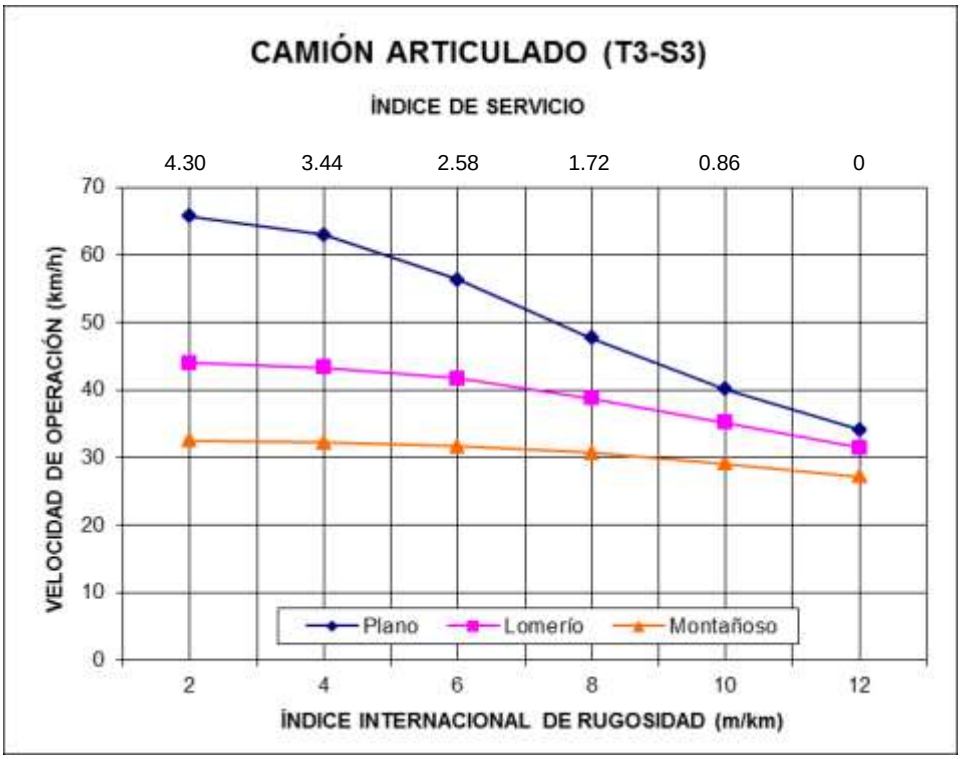
Fuente: Aguerrebere, R. y Cepeda, F. (1991). *Estado superficial y costos de operación en carreteras*, Publicación Técnica No. 30, Instituto Mexicano del Transporte, SCT, México.

Figura 2.1 Aspecto de tres tramos homogéneos con diferentes niveles de curvatura acumulada



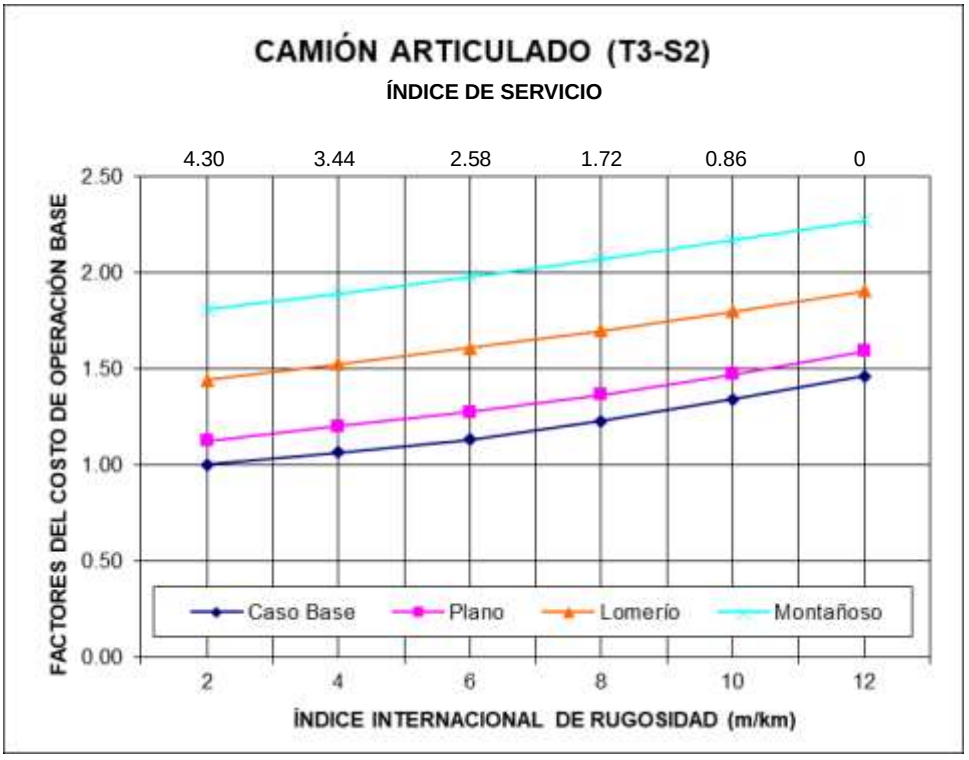
Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S3.

Figura 2.2 Factores del Costo de Operación para el T3-S3



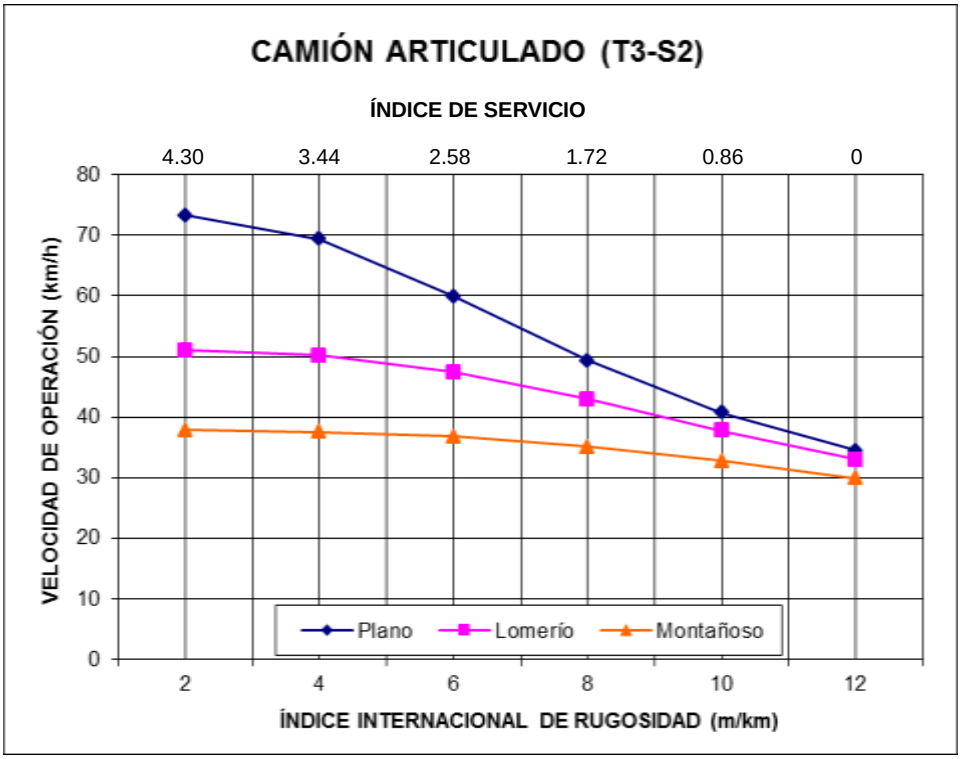
Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S3.

Figura 2.3 Velocidades de Operación para el T3-S3



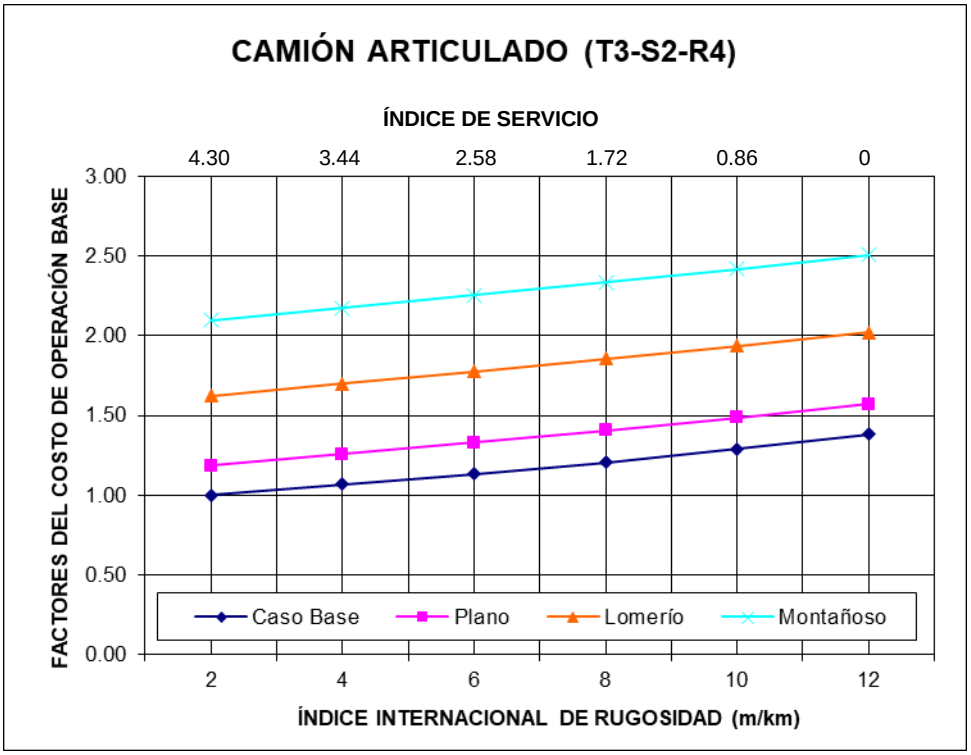
Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S2.

Figura 2.4 Factores del Costo de Operación para el T3-S2



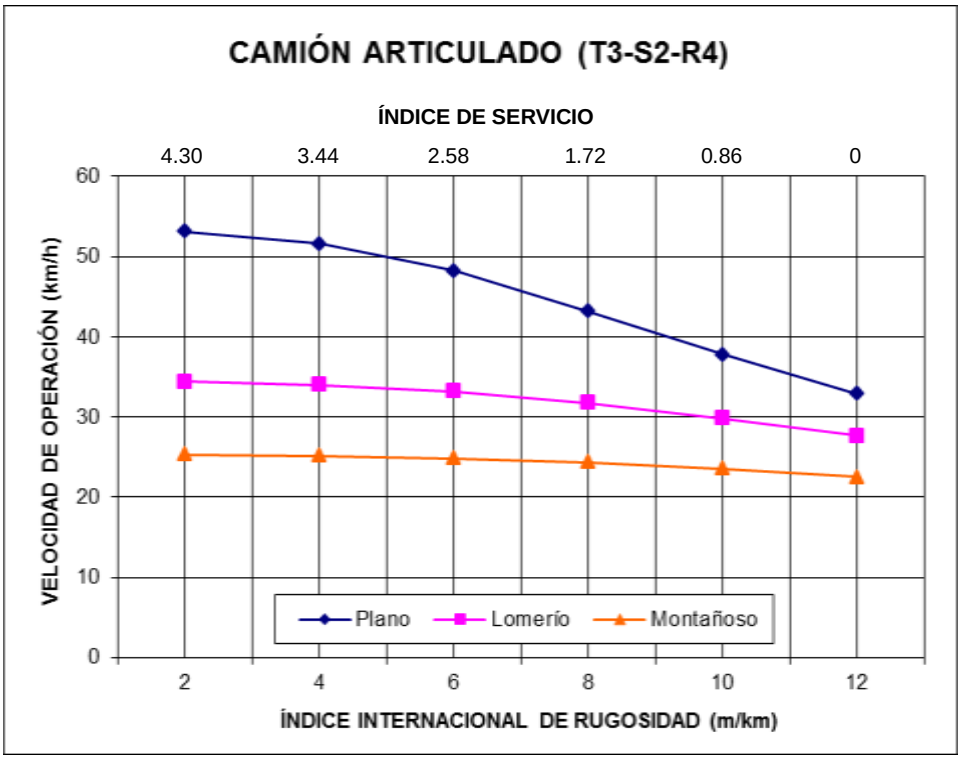
Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S2.

Figura 2.5 Velocidades de Operación para el T3-S2



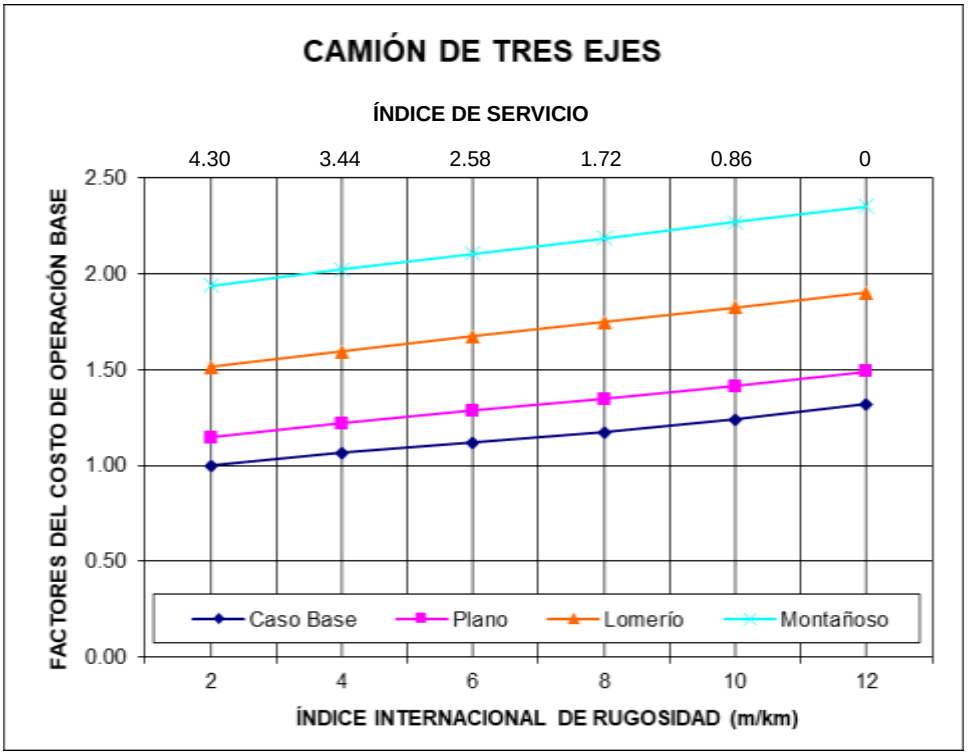
Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S2-R4.

Figura 2.6 Factores del Costo de Operación para el T3-S2-R4



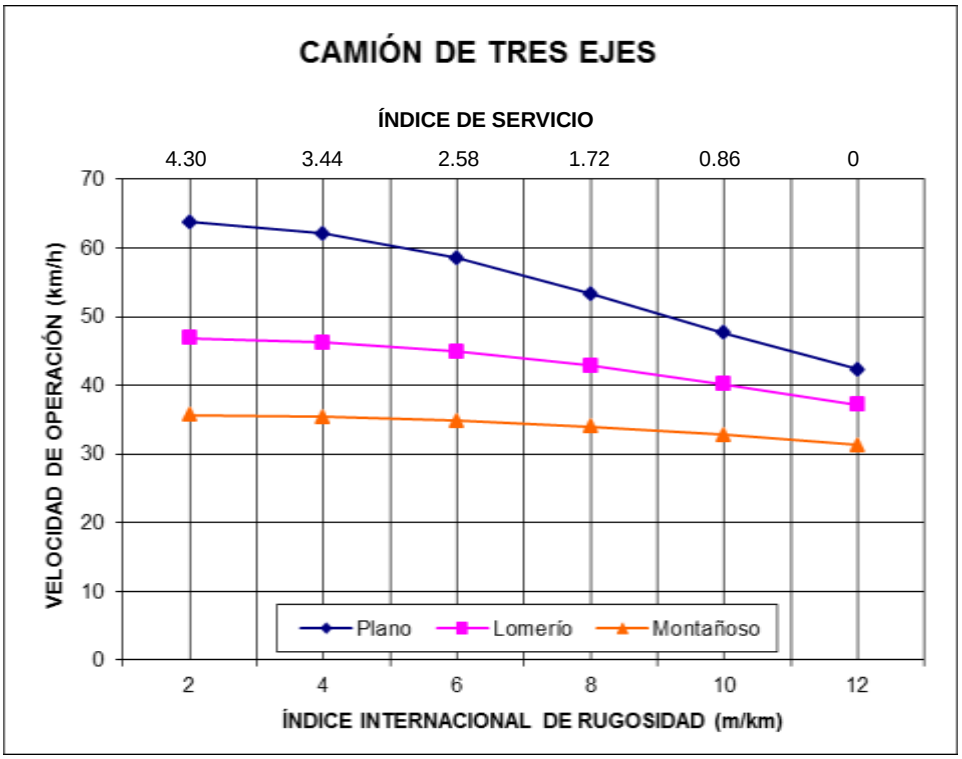
Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S2-R4.

Figura 2.7 Velocidades de Operación para el T3-S2-R4



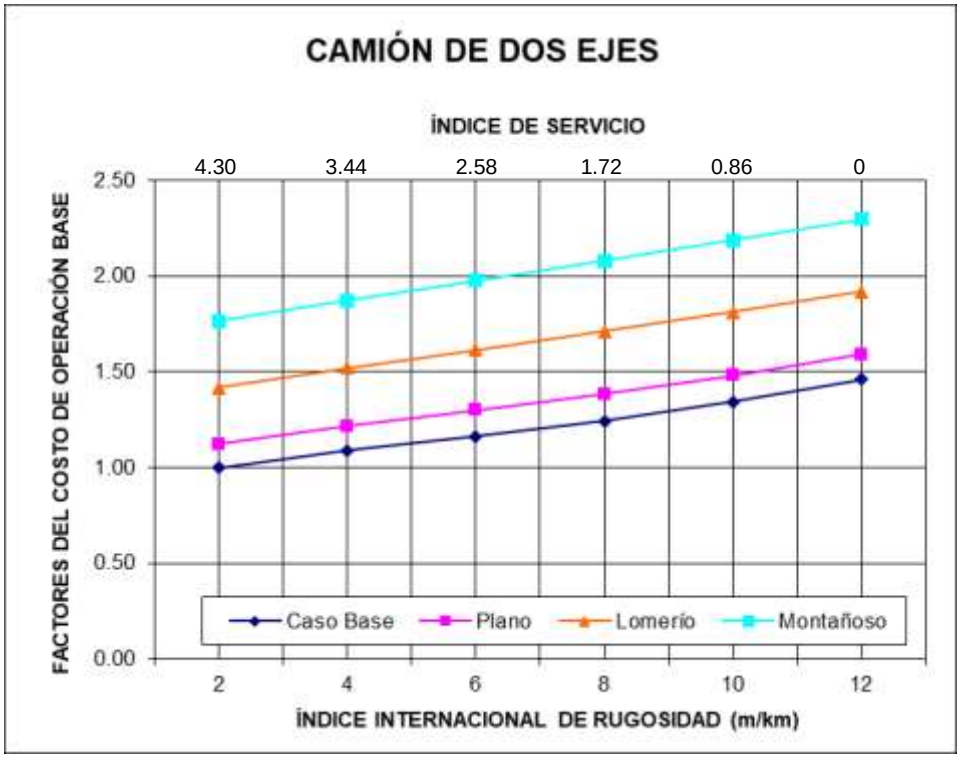
Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el C3.

Figura 2.8 Factores del Costo de Operación para el C3



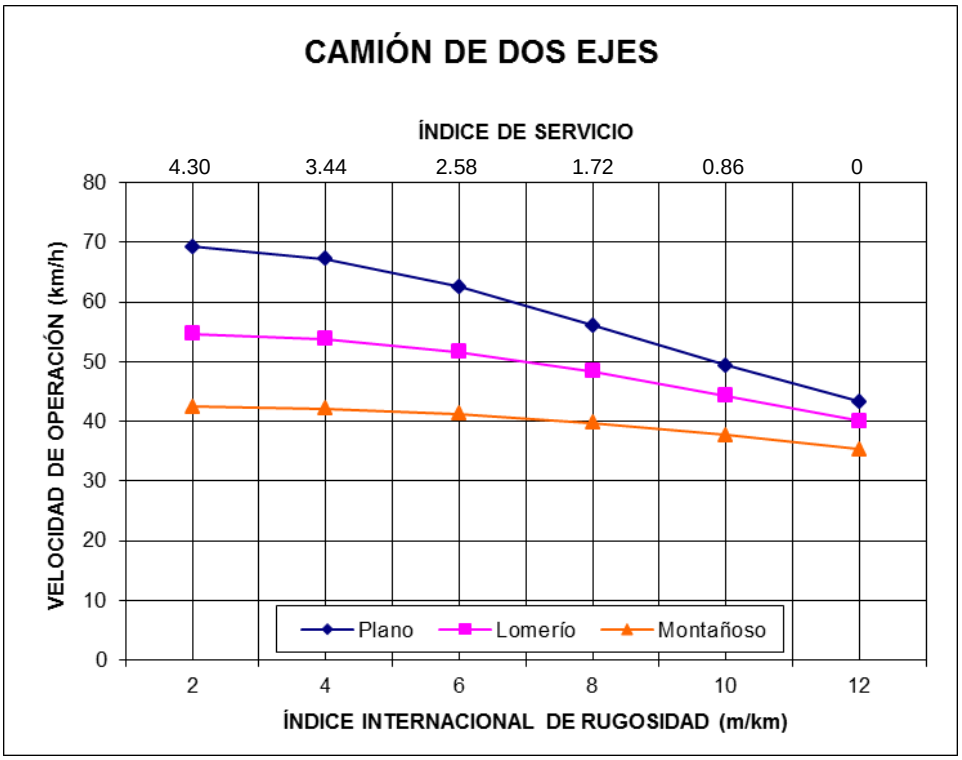
Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el C3.

Figura 2.9 Velocidades de Operación para el C3



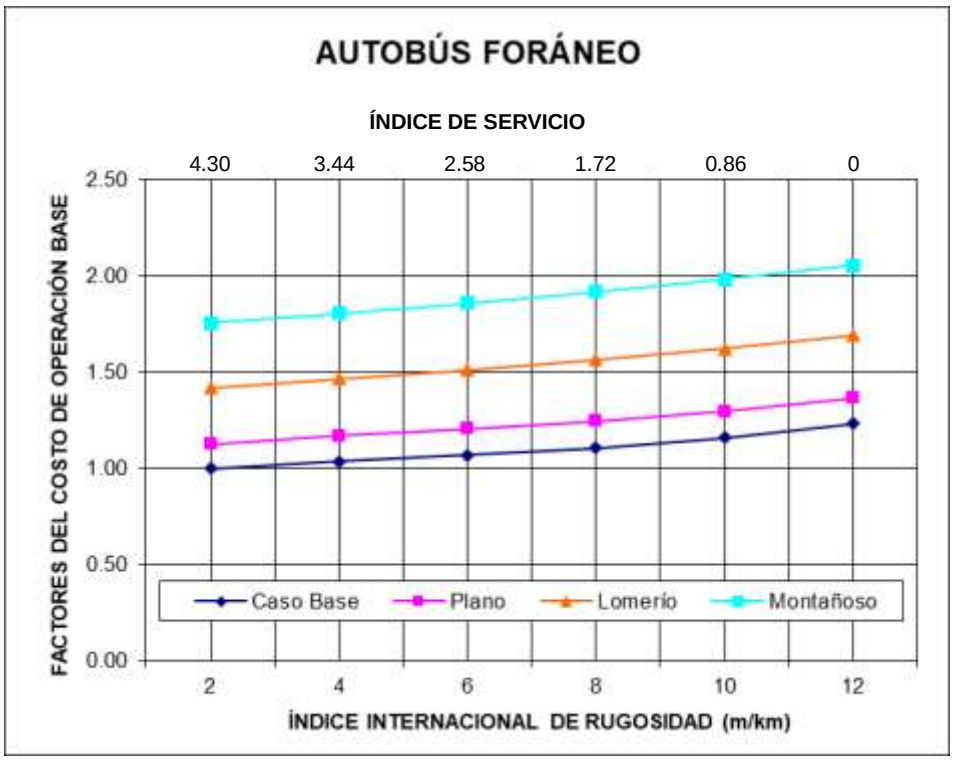
Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el C2.

Figura 2.10 Factores del Costo de Operación para el C2



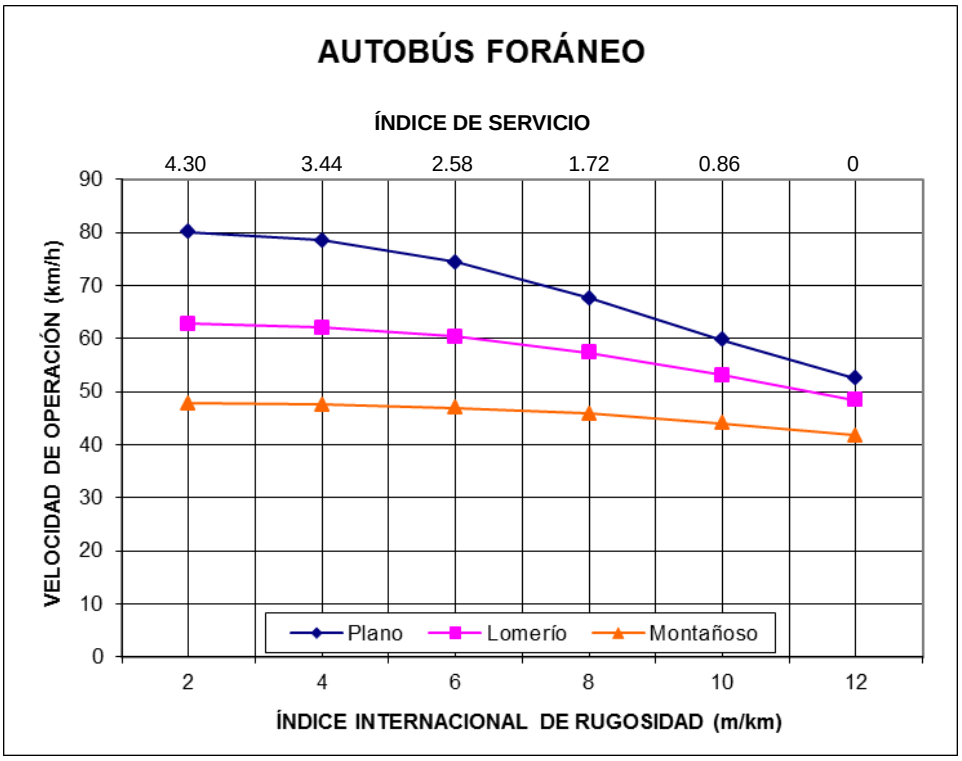
Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el C2.

Figura 2.11 Velocidades de Operación para el C2



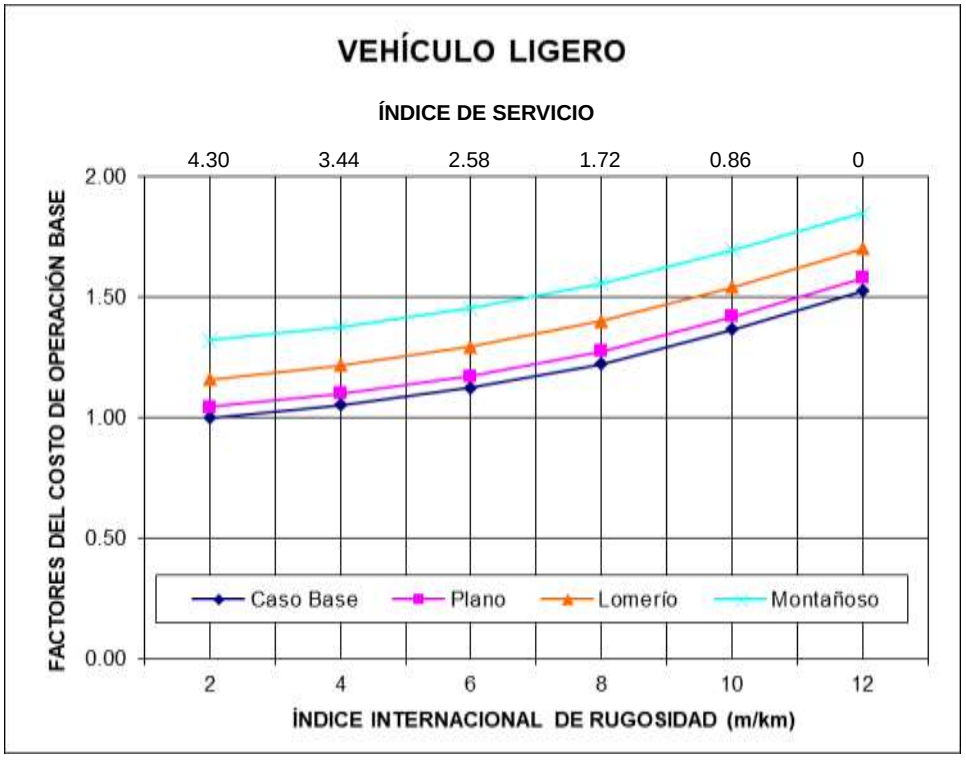
Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Autobús.

Figura 2.12 Factores del Costo de Operación para el Autobús



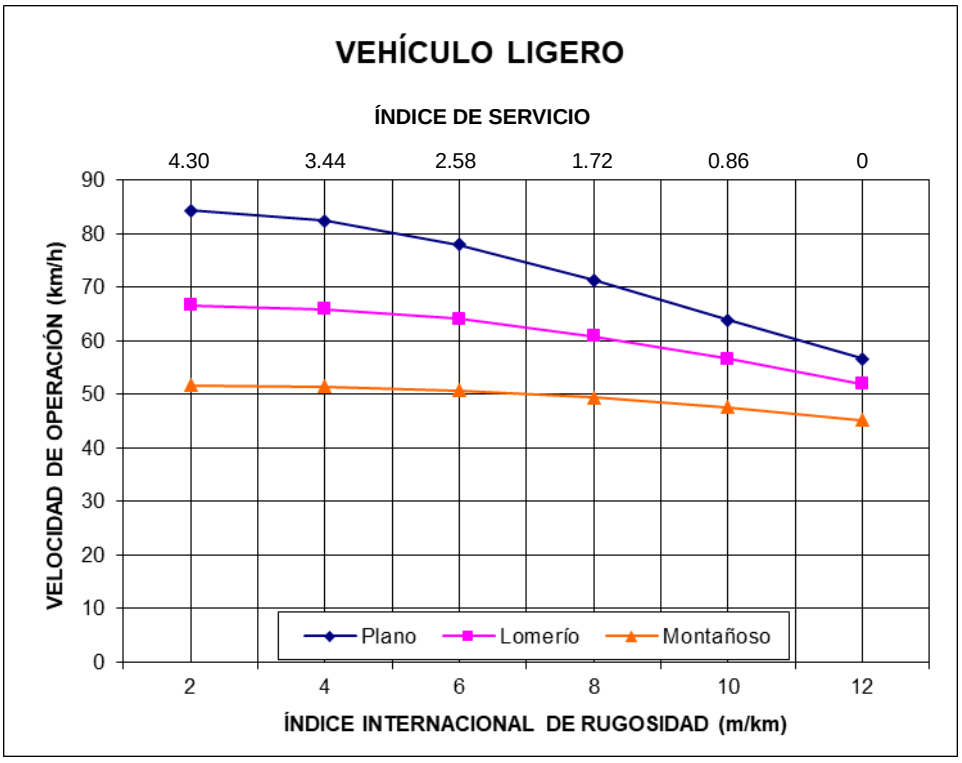
Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Autobús.

Figura 2.13 Velocidades de Operación para el Autobús



Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Vehículo Ligero.

Figura 2.14 Factores del Costo de Operación para el Vehículo Ligero



Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Vehículo Ligero.

Figura 2.15 Velocidades de Operación para el Vehículo Ligero

3 Indicadores del estado superficial

Los estados de la superficie de rodamiento están representados, como ya se mencionó, por el Índice de Servicio y el Índice Internacional de Rugosidad (IIR). El primero corresponde a la valoración 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, 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 3.1 se muestra 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 medir 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 3.2). 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 empleado para controlar las tolerancias a las irregularidades de una superficie (Paterson, 1987). El método consiste en colocar manualmente una regla de 2m o 3m de largo, longitudinalmente, sobre una de las huellas del 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 IIR, en m/km:

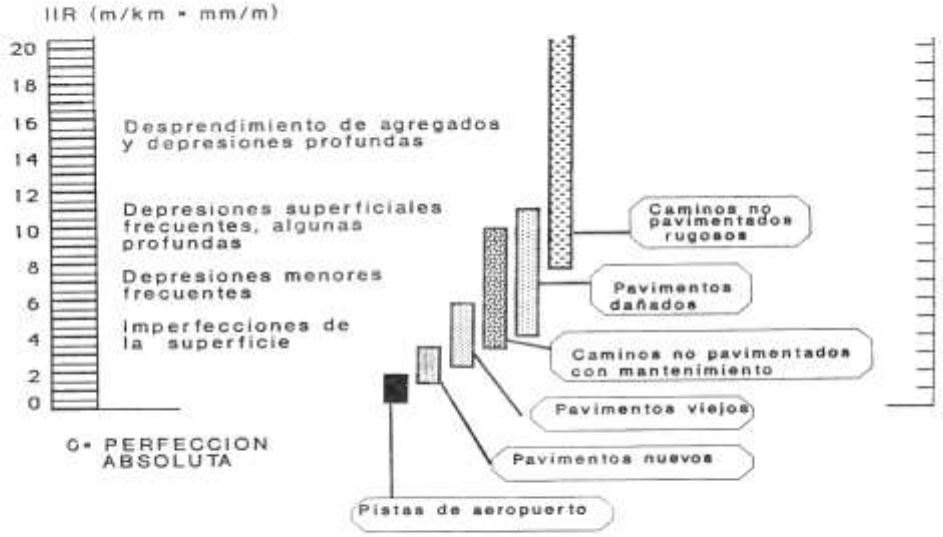
$$IIR(m/km) = 0.35\ DMR_3;\ DMR_3 = 95 \text{ percentil de las desviaciones máximas, bajo una regla de 3m de largo}$$

* El procedimiento detallado y recomendaciones asociadas pueden consultarse en "SISTEMA MEXICANO PARA LA ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS. Primera fase". Documentos Técnicos núms. 3 y 4. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, Qro., México, 1991.

$$IIR\ (m/km) = 0.437\ DMR_2;\ DMR_2 = 95\ percentil\ de\ las\ desviaciones\ máximas,\ bajo\ una\ regla\ de\ 2m\ de\ largo$$

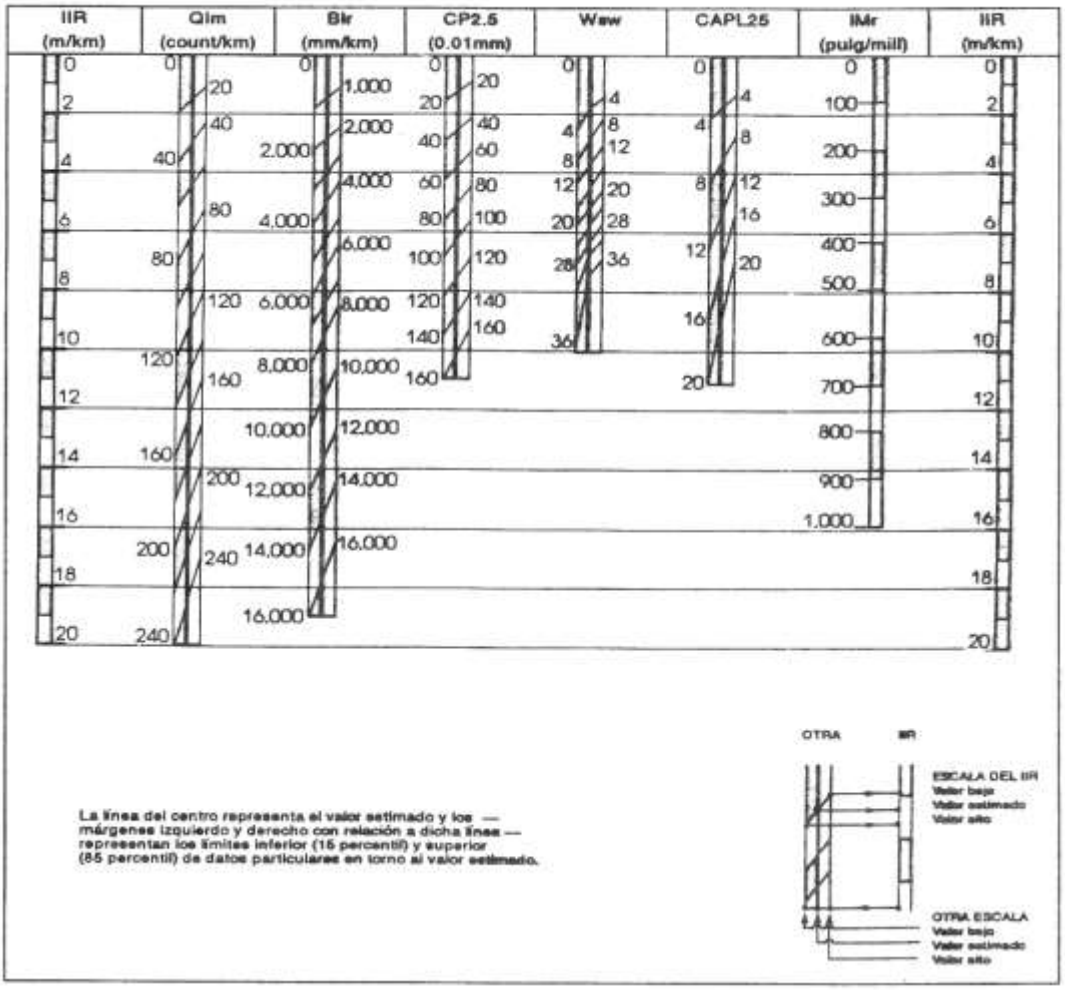
Un procedimiento alterno a la aplicación de estas fórmulas, es el uso de las gráficas de la figura 3.3.

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



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.

Figura 3.1 Escala del Índice Internacional 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)
Qlm "Quarter-car Index" de un "Maysmeter" calibrado, Estudio de Costos en Carreteras, Brasil-PNUD:

IIR=Qlm/13+0.37IIR; 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; 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+0.27IIR; IIR<11

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

IIR=0.78Wsw^0.63+0.89IIR; IIR<9

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

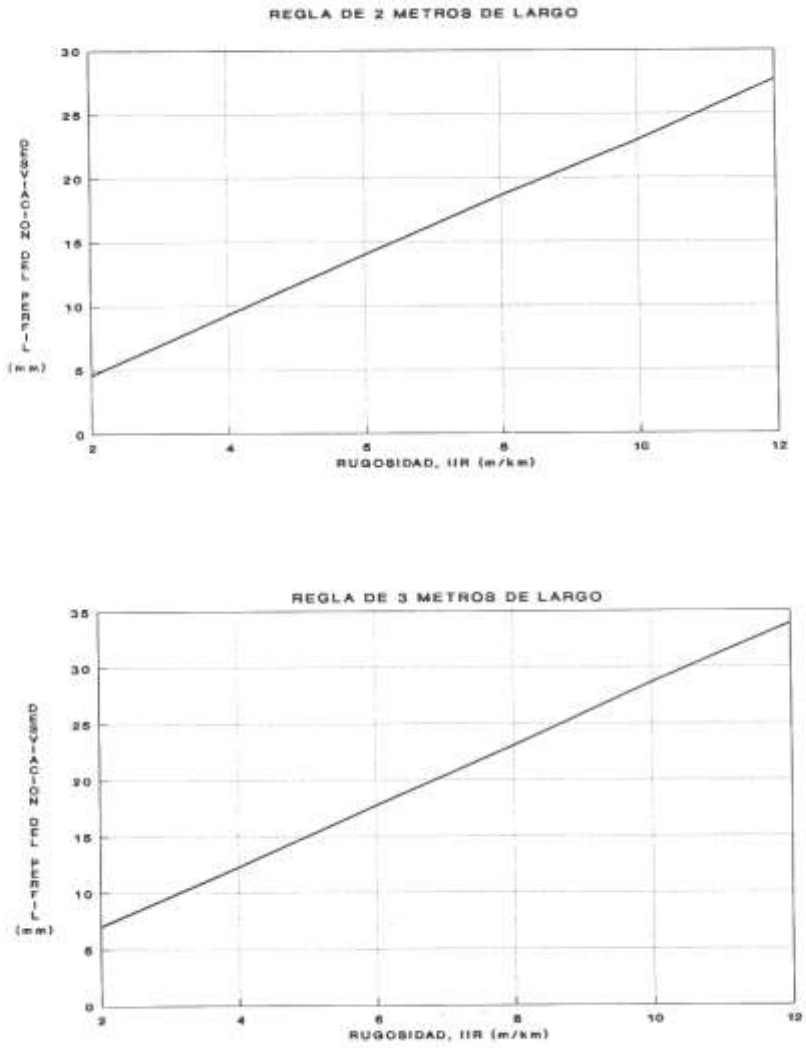
IIR=0.45k CAPL25+16%; IIR<11

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 Standars Series, pág.36, The World Bank.

Figura 3.2 Conversiones aproximadas entre las principales escalas de rugosidad



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 Standars Series, pág. 40, The World Bank.

Figura 3.3 Equivalencias entre la escala del Índice Internacional de Rugosidad y desviaciones con respecto a reglas de 2m y 3 m de longitud

4 Nota metodológica

El desarrollo del trabajo tuvo como antecedente las Publicaciones Técnicas 20, 30, 202, 282, 316, 337, 368, 407, 471 y 526 elaboradas en el propio Instituto Mexicano del Transporte. Con base en ellas, 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, así mismo a los especialistas en su planeación.

La actualización de la información consistió en obtener características técnicas de los siete tipos de vehículos identificados que intervienen para determinar sus costos de operación, y 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 fueron calculadas tomando como referencia las expresiones matemáticas sugeridas en el modelo HDM (The Highway Design and Maintenance Standards Model) en su versión 4, ya que estas ofrecieron resultados más acordes con lo observado en la práctica, como sigue:

HPDRIVE=0.75 HPRATED, para vehículos diésel (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: el precio de las llantas nuevas y el costo del renovado. También se obtuvieron datos sobre la utilización del vehículo, como 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, de los lubricantes, tiempo de los operadores; mano de obra de mantenimiento, tasa de interés anual y costos indirectos por veh-km.

Así mismo, se actualizó la información acerca del número de kilómetros y horas recorridas al año, al igual que la edad promedio del vehículo utilitario o ligero, derivada de los cambios en la operación de las flotas de las empresas para este tipo de vehículo.

A partir de estos 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).

Las tablas: 4.1, 4.2, 4.4, 4.5, 4.7, 4.8, 4.10, 4.11, 4.13, 4.14, 4.16, 4.17, 4.19 y 4.20 presentan estos resultados intermedios para cada uno de los vehículos seleccionados. Todos los costos fueron divididos entre el costo de operación base para obtener factores adimensionales, como los que se muestran en las tablas: 4.3, 4.6, 4.9, 4.12, 4.15, 4.18 y 4.21 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 fue incluido en las gráficas.

Tabla 4.1 Velocidad de Operación-Camión Articulado (T3-S3)
Valores calculados en km/h (2019)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	65.71	44.00	32.45
4	63.01	43.36	32.21
6	56.28	41.72	31.68
8	47.69	38.80	30.66
10	40.06	35.14	29.11
12	34.09	31.42	27.22

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S3.

Tabla 4.2 Costos de Operación-Camión Articulado (T3-S3)
Valores calculados en pesos por veh-km (2019)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	20.13	23.14	30.55	38.92
4	21.46	24.65	32.18	40.59
6	22.75	26.12	33.82	42.28
8	24.45	27.77	35.54	44.03
10	26.49	29.68	37.38	45.88
12	28.72	31.80	39.33	47.81

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S3.

Tabla 4.3 Factores del Costo Base-Camión Articulado (T3-S3)
(adimensional)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.15	1.52	1.93
4	1.07	1.22	1.60	2.02
6	1.13	1.30	1.68	2.10
8	1.21	1.38	1.77	2.19
10	1.32	1.47	1.86	2.28
12	1.43	1.58	1.95	2.38

Columnas: diferentes tipos de terreno.
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad, en m/km.

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S3.

Tabla 4.4 Velocidad de Operación-Camión Articulado (T3-S2) Valores calculados en km/h (2019)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	73.33	51.04	37.88
4	69.42	50.12	37.57
6	59.93	47.45	36.76
8	49.29	42.90	35.12
10	40.75	37.72	32.70
12	34.41	32.94	29.91

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S2.

Tabla 4.5 Costos de Operación-Camión Articulado (T3-S2) Valores calculados en pesos por veh-km (2019)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	17.68	19.90	25.45	31.93
4	18.83	21.24	26.93	33.44
6	20.01	22.55	28.43	34.98
8	21.68	24.14	30.02	36.59
10	23.68	26.03	31.77	38.30
12	25.84	28.12	33.68	40.13

Columnas: diferentes tipos de terreno.
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad, en m/km.

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S2.

Tabla 4.6 Factores del Costo Base-Camión Articulado (T3-S2) (adimensional)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.13	1.44	1.81
4	1.07	1.20	1.52	1.89
6	1.13	1.28	1.61	1.98
8	1.23	1.37	1.70	2.07
10	1.34	1.47	1.80	2.17
12	1.46	1.59	1.90	2.27

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S2.

Tabla 4.7 Velocidad de Operación-Camión Articulado (T3-S2-R4)
Valores calculados en km/h (2019)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	53.11	34.42	25.34
4	51.57	34.00	25.16
6	48.19	33.19	24.85
8	43.14	31.77	24.32
10	37.74	29.83	23.52
12	32.89	27.65	22.51

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S2-R4.

Tabla 4.8 Costos de Operación-Camión Articulado (T3-S2-R4)
Valores calculados en pesos por veh-km (2019)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	25.07	29.73	40.66	52.53
4	26.76	31.56	42.58	54.51
6	28.37	33.36	44.51	56.51
8	30.19	35.21	46.49	58.55
10	32.31	37.23	48.55	60.67
12	34.65	39.42	50.71	62.88

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S2-R4.

Tabla 4.9 Factores del Costo Base-Camión Articulado (T3-S2-R4)
(adimensional)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.19	1.62	2.10
4	1.07	1.26	1.70	2.17
6	1.13	1.33	1.78	2.25
8	1.20	1.40	1.85	2.34
10	1.29	1.49	1.94	2.42
12	1.38	1.57	2.02	2.51

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S2-R4.

Tabla 4.10 Velocidad de Operación-Camión de Tres Ejes Valores calculados en km/h (2019)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	63.81	46.88	35.65
4	62.14	46.26	35.38
6	58.56	44.97	34.86
8	53.37	42.88	34.01
10	47.66	40.17	32.80
12	42.28	37.16	31.31

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el C3.

Tabla 4.11 Costos de Operación-Camión de Tres Ejes Valores calculados en pesos por veh-km (2019)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	13.31	15.27	20.17	25.81
4	14.18	16.24	21.24	26.92
6	14.88	17.10	22.27	28.02
8	15.60	17.92	23.27	29.11
10	16.50	18.81	24.27	30.21
12	17.58	19.84	25.31	31.32

Columnas: diferentes tipos de terreno.
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad, en m/km.

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el C3.

Tabla 4.12 Factores del Costo Base-Camión de Tres Ejes (adimensional)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.15	1.52	1.94
4	1.07	1.22	1.60	2.02
6	1.12	1.28	1.67	2.11
8	1.17	1.35	1.75	2.19
10	1.24	1.41	1.82	2.27
12	1.32	1.49	1.90	2.35

Columnas: diferentes tipos de terreno.
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad, en m/km.

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el C3.

Tabla 4.13 Velocidad de Operación-Camión de Dos Ejes Valores calculados en km/h (2019)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	69.24	54.69	42.48
4	67.16	53.77	42.09
6	62.54	51.68	41.23
8	56.11	48.37	39.77
10	49.39	44.32	37.75
12	43.34	40.14	35.37

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el C2.

Tabla 4.14 Costos de Operación-Camión de Dos Ejes Valores calculados en pesos por veh-km (2019)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	9.72	10.91	13.78	17.17
4	10.57	11.82	14.77	18.20
6	11.29	12.62	15.71	19.21
8	12.08	13.44	16.64	20.22
10	13.05	14.38	17.61	21.25
12	14.19	15.47	18.66	22.32

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el C2.

Tabla 4.15 Factores del Costo Base-Camión de Dos Ejes (adimensional)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.12	1.42	1.77
4	1.09	1.22	1.52	1.87
6	1.16	1.30	1.62	1.98
8	1.24	1.38	1.71	2.08
10	1.34	1.48	1.81	2.19
12	1.46	1.59	1.92	2.30

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el C2.

Tabla 4.16 Velocidad de Operación-Autobús Foráneo Valores calculados en km/h (2019)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	80.14	62.78	47.79
4	78.61	62.12	47.52
6	74.44	60.45	46.94
8	67.63	57.38	45.82
10	59.82	53.14	44.07
12	52.50	48.40	41.77

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Autobús.

Tabla 4.17 Costos de Operación-Autobús Foráneo Valores calculados en pesos por veh-km (2019)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	15.48	17.47	22.01	27.23
4	16.07	18.11	22.72	27.99
6	16.58	18.69	23.47	28.82
8	17.16	19.31	24.27	29.73
10	17.98	20.10	25.16	30.74
12	19.09	21.16	26.21	31.86

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Autobús.

Tabla 4.18 Factores del Costo Base-Autobús Foráneo (adimensional)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.13	1.42	1.76
4	1.04	1.17	1.47	1.81
6	1.07	1.21	1.52	1.86
8	1.11	1.25	1.57	1.92
10	1.16	1.30	1.63	1.99
12	1.23	1.37	1.69	2.06

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Autobús.

Tabla 4.19 Velocidad de Operación-Vehículo Ligero Valores calculados en km/h (2019)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	84.33	66.71	51.76
4	82.44	65.94	51.46
6	78.03	64.08	50.75
8	71.39	60.90	49.48
10	63.87	56.69	47.58
12	56.69	52.01	45.17

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Vehículo Ligero.

Tabla 4.20 Costos de Operación-Vehículo Ligero Valores calculados en pesos por veh-km (2019)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	5.44	5.68	6.31	7.18
4	5.73	5.98	6.62	7.49
6	6.11	6.38	7.04	7.91
8	6.65	6.94	7.62	8.47
10	7.43	7.72	8.39	9.22
12	8.30	8.59	9.25	10.05

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Vehículo Ligero.

Tabla 4.21 Factores del Costo Base-Vehículo Ligero (adimensional)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.04	1.16	1.32
4	1.05	1.10	1.22	1.38
6	1.12	1.17	1.29	1.45
8	1.22	1.28	1.40	1.56
10	1.37	1.42	1.54	1.69
12	1.53	1.58	1.70	1.85

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

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Vehículo Ligero.

4.1 Datos utilizados

Los cuadros siguientes, que comprenden el conjunto de datos de entrada de cada tipo de vehículo, se indican como una tabla para cada uno de ellos.

4.1.1 Camión articulado (T3-S3)

Tabla 4.22 Datos de Entrada-Camión Articulado (T3-S3)

Características de la carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav 0-No pav	1.00
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.00
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.00
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.00
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.00

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

Selección del vehículo, tipo de vehículo:	10.00

10 camión articulado∗

∗ (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para un INTERNATIONAL 9200i MODELO 2019, MOTOR CUMMINS ISX DE 450 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	**19 436.00**
2 Carga útil	kg	**35 109.00**
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	**342.18**
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	**706.89**
5 Velocidad deseada	km/h	**100.00**
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.63
7 Área frontal proyectada	m^2	**9.14**
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	**1 700.00**
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	**0.65**
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	**1.15**

Características de los neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	**22.00**
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm^3	8.39
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	**0.33**
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	3.57
5 Término const del modelo de desgaste	m^3/m	0.16
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm^3/kj	12.78

Datos sobre la utilización del vehículo

1 Número de km. conducidos por año	km	**180 000.00**
2 Número de horas conducidas por año	horas	**2 860.00**
3 Índice de utilización horaria	fracción	**0.85**
4 Vida útil promedio de servicio	años	**8.00**
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	**1.00**
6 Edad del vehículo en kilómetros	km	**600 000.00**
7 Número de pasajeros por vehículo	#	**0.00**

Costos unitarios en pesos, precios 2019

1 Precio del vehículo nuevo	$	**1’270,870.00**
2 Costo del combustible	$/litro	**18.41**
3 Costo de los lubricantes	$/litro	**35.30**
4 Costo por llanta nueva	$/llanta	**2,676.50**
5 Tiempo de los operarios	$/hora	**60.32**
6 Tiempo de los pasajeros	$/hora	**0.00**
7 Mano de obra de mantenimiento	$/hora	**44.72**
8 Retención de la carga	$/hora	**0.00**
9 Tasa de interés anual	%	**4.09**
10 Costos indirectos por veh-km	$	**1.83**

Coeficientes adicionales

1 kp	Refacciones		0.37
2 CPo	Refacciones	10E-6	13.94
3 CPq	Refacciones	10E-3	15.65
4 QIPo	Refacciones		0.00
5 CLo	Mantenimiento		652.51
6 CLp	Mantenimiento		0.52
7 CLq	Mantenimiento		0.00
8 COo	Lubricantes		5.15
9 FRATIOo	VCURVE		0.18
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.02
11 ARVMAX	VROUGH		130.90
1 BW	VDESIR		1.00
2 BETA	Velocidad		0.24
3 Eo	Velocidad		1.02
4 Ao	Combustible		-30 559.00
5 A1	Combustible		156.10
6 A2	Combustible		0.00
7 A3	Combustible		4 002.00
8 A4	Combustible		0.00
9 A5	Combustible		4.41
10 A6	Combustible		4 435.00
11 A7	Combustible		26.08
12NHO	Combustible		-85.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el T3-S3.

4.1.2 Camión articulado (T3-S2)

Tabla 4.23 Datos de Entrada-Camión Articulado (T3-S2)

Características de la carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav 0-No pav	1.00
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.00
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.00
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.00
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.00

•(Valor por “default” del programa en función de la curvatura)

Selección del vehículo, tipo de vehículo:	10.00

10 camión articulado∗

∗ (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para un INTERNATIONAL 9200i MODELO 2019, MOTOR CUMMINS ISX DE 450 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	**17 436.00**
2 Carga útil	kg	**25 000.00**
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	**342.18**
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	**553.88**
5 Velocidad deseada	km/h	**100.00**
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.63
7 Área frontal proyectada	m^2	**9.14**
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	**1 700.00**
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	**0.65**
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	**1.15**

Características de los neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	**18.00**
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm^3	8.39
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	**0.33**
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	3.57
5 Término const del modelo de desgaste	m^3/m	0.16
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm^3/kj	12.78

Datos sobre la utilización del vehículo

1 Número de km. conducidos por año	km	**180 000.00**
2 Número de horas conducidas por año	horas	**2 860.00**
3 Índice de utilización horaria	fracción	**0.85**
4 Vida útil promedio de servicio	años	**8.00**
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	**1.00**
6 Edad del vehículo, en kilómetros	km	**600 000.00**
7 Número de pasajeros por vehículo	#	**0.00**

Costos unitarios en pesos, precios 2019

1 Precio del vehículo nuevo	$	**1’203,023.00**
2 Costo del combustible	$/litro	**18.41**
3 Costo de los lubricantes	$/litro	**35.30**
4 Costo por llanta nueva	$/llanta	**2,676.50**
5 Tiempo de los operarios	$/hora	**60.32**
6 Tiempo de los pasajeros	$/hora	**0.00**
7 Mano de obra de mantenimiento	$/hora	**44.72**
8 Retención de la carga	$/hora	**0.00**
9 Tasa de interés anual	%	**4.09**
10 Costos indirectos por veh-km	$	**1.61**

Coeficientes adicionales

1 kp	Refacciones		0.37
2 CPo	Refacciones	10E-6	13.94
3 CPq	Refacciones	10E-3	15.65
4 QIPo	Refacciones		0.00
5 CLo	Mantenimiento		652.51
6 CLp	Mantenimiento		0.52
7 CLq	Mantenimiento		0.00
8 COo	Lubricantes		5.15
9 FRATIOo	VCURVE		0.18
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.02
11 ARVMAX	VROUGH		130.90
1 BW	VDESIR		1.00
2 BETA	Velocidad		0.24
3 Eo	Velocidad		1.02
4 Ao	Combustible		-30 559.00
5 A1	Combustible		156.10
6 A2	Combustible		0.00
7 A3	Combustible		4 002.00
8 A4	Combustible		0.00
9 A5	Combustible		4.41
10 A6	Combustible		4 435.00
11 A7	Combustible		26.08
12NHO	Combustible		-85.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el T3-S2.

4.1.3. Camión articulado (T3-S2-R4)

Tabla 4.24 Datos de Entrada-Camión Articulado (T3-S2-R4)

Características de la carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav 0-No pav	1.00
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.00
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.00
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.00
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.00

•(Valor por “default” del programa en función de la curvatura)

Selección del vehículo, tipo de vehículo:	10.00

10 camión articulado∗

∗ (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para un INTERNATIONAL 9200i MODELO 2019, MOTOR CUMMINS ISX DE 450 HP (SAE NETO), CON UN SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES Y UN REMOLQUE DE CUATRO EJES CON CAJAS de 40 pies, 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	**29 436.00**
2 Carga útil	kg	**48 000.00**
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	**342.18**
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	**996.13**
5 Velocidad deseada	km/h	**100.00**
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.63
7 Área frontal proyectada	m^2	**9.14**
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	**1 700.00**
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	**0.65**
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	**1.15**

Características de los neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	**34.00**
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm^3	8.39
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	**0.33**
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	3.57
5 Término const del modelo de desgaste	m^3/m	0.16
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm^3/kj	12.78

Datos sobre la utilización del vehículo

1 Número de km conducidos por año	km	**180 000.00**
2 Número de horas conducidas por año	horas	**2 860.00**
3 Índice de utilización horaria	fracción	**0.85**
4 Vida útil promedio de servicio	años	**8.00**
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	**1.00**
6 Edad del vehículo en kilómetros	km	**600 000.00**
7 Número de pasajeros por vehículo	#	**0.00**

Costos unitarios en pesos, precios 2019

1 Precio del vehículo nuevo	$	**1’405,180.00**
2 Costo del combustible	$/litro	**18.41**
3 Costo de los lubricantes	$/litro	**35.30**
4 Costo por llanta nueva	$/llanta	**2,676.50**
5 Tiempo de los operarios	$/hora	**60.32**
6 Tiempo de los pasajeros	$/hora	**0.00**
7 Mano de obra de mantenimiento	$/hora	**44.72**
8 Retención de la carga	$/hora	**0.00**
9 Tasa de interés anual	%	**4.09**
10 Costos indirectos por veh-km	$	**2.28**

Coeficientes adicionales

1 kp	Refacciones		0.37
2 CPo	Refacciones	10E-6	13.94
3 CPq	Refacciones	10E-3	15.65
4 QIPo	Refacciones		0.00
5 CLo	Mantenimiento		652.51
6 CLp	Mantenimiento		0.52
7 CLq	Mantenimiento		0.00
8 COo	Lubricantes		5.15
9 FRATIOo	VCURVE		0.18
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.02
11 ARVMAX	VROUGH		130.90
1 BW	VDESIR		1.00
2 BETA	Velocidad		0.24
3 Eo	Velocidad		1.02
4 Ao	Combustible		-30 559.00
5 A1	Combustible		156.10
6 A2	Combustible		0.00
7 A3	Combustible		4 002.00
8 A4	Combustible		0.00
9 A5	Combustible		4.41
10 A6	Combustible		4 435.00
11 A7	Combustible		26.08
12NHO	Combustible		-85.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el T3-S2-R4.

4.1.4 Camión de tres ejes

Tabla 4.25 Datos de Entrada-Camión de Tres Ejes

Características de la carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav 0-No pav	1.00
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.00
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.00
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.00
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.00

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

Selección del vehículo, tipo de vehículo:	9.00

9 Camión pesado (de tres ejes)∗

∗ (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para un INTERNATIONAL 4400 MODELO 2019, MOTOR NAVISTAR DT 466 DE 250 HP (SAE NETO), CON CARROCERÍA DE REDILAS de 23 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	**6 939.70**
2 Carga útil	kg	**17 554.30**
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	**190.10**
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	**327.17**
5 Velocidad deseada	km/h	**90.00**
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.85
7 Área frontal proyectada	m^2	**6.05**
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	**2 100.00**
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	**0.80**
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	**1.15**

Características de los neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	**10.00**
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm^3	7.30
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	**0.33**
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	2.39
5 Término const del modelo de desgaste	m^3/m	0.16
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm^3/kj	12.78

Datos sobre la utilización del vehículo

1 Número de km conducidos por año	km	**150 000.00**
2 Número de horas conducidas por año	horas	**2 860.00**
3 Índice de utilización horaria	fracción	**0.85**
4 Vida útil promedio de servicio	años	**8.00**
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	**1.00**
6 Edad del vehículo, en kilómetros	km	**500 000.00**
7 Número de pasajeros por vehículo	#	**0.00**

Costos unitarios en pesos, precios 2019

1 Precio del vehículo nuevo	$	**642,807.63**
2 Costo del combustible	$/litro	**18.41**
3 Costo de los lubricantes	$/litro	**35.30**
4 Costo por llanta nueva	$/llanta	**2,676.50**
5 Tiempo de los operarios	$/hora	**53.46**
6 Tiempo de los pasajeros	$/hora	**0.00**
7 Mano de obra de mantenimiento	$/hora	**44.72**
8 Retención de la carga	$/hora	**0.00**
9 Tasa de interés anual	%	**4.09**
10 Costos indirectos por veh-km	$	**1.21**

Coeficientes adicionales

1 kp	Refacciones		0.37
2 CPo	Refacciones	10E-6	8.61
3 CPq	Refacciones	10E-3	35.31
4 QIPo	Refacciones		0.00
5 CLo	Mantenimiento		301.46
6 CLp	Mantenimiento		0.52
7 CLq	Mantenimiento		0.00
8 COo	Lubricantes		3.07
9 FRATIOo	VCURVE		0.29
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.09
11 ARVMAX	VROUGH		177.70
1 BW	VDESIR		1.00
2 BETA	Velocidad		0.31
3 Eo	Velocidad		1.01
4 Ao	Combustible		-22 955.00
5 A1	Combustible		95.00
6 A2	Combustible		0.00
7 A3	Combustible		3 758.00
8 A4	Combustible		0.00
9 A5	Combustible		19.12
10 A6	Combustible		2 394.00
11 A7	Combustible		13.76
12NHO	Combustible		-85.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el C3.

4.1.5 Camión de dos ejes

Tabla 4.26 Datos de Entrada-Camión de Dos Ejes

Características de la carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav. 0-No pav.	1.00
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.00
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.00
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.00
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.00

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

Selección del vehículo, tipo de vehículo:	8.00

8 camión mediano (de dos ejes)∗

∗ (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para un INTERNATIONAL 4300 MODELO 2019, MOTOR NAVISTAR DT 466 DE 215 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	**5 501.60**
2 Carga útil	kg	**10,374.10**
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	**163.49**
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	**218.27**
5 Velocidad deseada	km/h	**90.00**
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.85
7 Área frontal proyectada	m^2	**6.05**
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	**2 100.00**
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	**0.80**
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	**1.15**

Características de los neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	**6.00**
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm^3	7.60
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	**0.33**
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	2.39
5 Término const del modelo de desgaste	m^3/m	0.16
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm^3/kj	12.78

Datos sobre la utilización del vehículo

1 Número de km conducidos por año	km	**150 000.00**
2 Número de horas conducidas por año	horas	**2 860.00**
3 Índice de utilización horaria	fracción	**0.85**
4 Vida útil promedio de servicio	años	**8.00**
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	**1.00**
6 Edad del vehículo, en kilómetros	km	**500 000.00**
7 Número de pasajeros por vehículo	#	**0.00**

Costos unitarios en pesos, precios 2019

1 Precio del vehículo nuevo	$	**541,589.63**
2 Costo del combustible	$/litro	**18.41**
3 Costo de los lubricantes	$/litro	**35.30**
4 Costo por llanta nueva	$/llanta	**2,676.50**
5 Tiempo de los operarios	$/hora	**53.46**
6 Tiempo de los pasajeros	$/hora	**0.00**
7 Mano de obra de mantenimiento	$/hora	**44.72**
8 Retención de la carga	$/hora	**0.00**
9 Tasa de interés anual	%	**4.09**
10 Costos indirectos por veh-km	$	**0.88**

Coeficientes adicionales

1 KP	Refacciones		0.37
2 CPo	Refacciones	10E-6	1.49
3 CPq	Refacciones	10E-3	251.79
4 QIPo	Refacciones		0.00
5 CLo	Mantenimiento		242.03
6 CLp	Mantenimiento		0.52
7 CLq	Mantenimiento		0.00
8 COo	Lubricantes		3.07
9 FRATIOo	VCURVE		0.29
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.09
11 ARVMAX	VROUGH		177.70
1 BW	VDESIR		1.00
2 BETA	Velocidad		0.31
3 Eo	Velocidad		1.01
4 Ao	Combustible		-22 955.00
5 A1	Combustible		95.00
6 A2	Combustible		0.00
7 A3	Combustible		3 758.00
8 A4	Combustible		0.00
9 A5	Combustible		19.12
10 A6	Combustible		2 394.00
11 A7	Combustible		13.76
12NHO	Combustible		-85.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el C2.

4.1.6 Autobús foráneo

Tabla 4.27 Datos de Entrada-Autobús Foráneo

Características de la carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav 0-No pav	1.00
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.00
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.00
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.00
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.00

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

Selección del vehículo, tipo de vehículo:	5.00

5 autobús∗

∗ (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para un SCANIA K 380 MODELO 2019, MOTOR SCANIA DC12 02 EPA, DE 380 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	**17 500.00**
2 Carga útil	kg	**7 500.00**
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	**288.95**
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	**333.56**
5 Velocidad deseada	km/h	**95.00**
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.65
7 Área frontal proyectada	m^2	**6.98**
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	**1 700.00**
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	**0.80**
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	**1.15**

Características de los neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	**10.00**
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm^3	6.85
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	**0.33**
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	2.39
5 Término const del modelo de desgaste	m^3/m	0.16
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm^3/kj	12.78

Datos sobre la utilización del vehículo

1 Número de km conducidos por año	km	**240 000.00**
2 Número de horas conducidas por año	horas	**2 860.00**
3 Índice de utilización horaria	fracción	**0.80**
4 Vida útil promedio de servicio	años	**8.00**
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	**1.00**
6 Edad del vehículo, en kilómetros	km	**750 000.00**
7 Número de pasajeros por vehículo	#	**23.00**

Costos unitarios en pesos, precios 2019

1 Precio del vehículo nuevo	$	**2’234,082.00**
2 Costo del combustible	$/litro	**18.41**
3 Costo de los lubricantes	$/litro	**35.30**
4 Costo por llanta nueva	$/llanta	**2,859.00**
5 Tiempo de los operarios	$/hora	**74.46**
6 Tiempo de los pasajeros	$/hora	**0.00**
7 Mano de obra de mantenimiento	$/hora	**64.64**
8 Retención de la carga	$/hora	**0.00**
9 Tasa de interés anual	%	**4.09**
10 Costos indirectos por veh-km	$	**1.41**

Coeficientes adicionales

1 KP	Refacciones		0.48
2 CPo	Refacciones	10E-6	1.77
3 CPq	Refacciones	10E-3	3.56
4 QIPo	Refacciones		190.00
5 CLo	Mantenimiento		293.44
6 CLp	Mantenimiento		0.52
7 CLq	Mantenimiento		0.01
8 COo	Lubricantes		3.07
9 FRATIOo	VCURVE		0.23
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.00
11 ARVMAX	VROUGH		212.80
1 BW	VDESIR		1.00
2 BETA	Velocidad		0.27
3 Eo	Velocidad		1.01
4 Ao	Combustible		-7 276.00
5 A1	Combustible		63.50
6 A2	Combustible		0.00
7 A3	Combustible		4 323.00
8 A4	Combustible		0.00
9 A5	Combustible		8.64
10 A6	Combustible		2 479.00
11 A7	Combustible		11.50
12NHO	Combustible		-50.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el Autobús.

4.1.7 Vehículo Ligero

Tabla 4.28 Datos de Entrada-Vehículo Ligero

Características de la carretera

1 Tipo de superficie	Código: 1-Pav 0-No pav	1.00
2 Rugosidad promedio (IIR)	m/km	2 a 12
3 Pendiente media ascendente	%	0 a 5
4 Pendiente media descendente	%	0.00
5 Proporción de viaje ascendente	%	50.00
6 Curvatura horizontal promedio	grados/km	0 a 700
7 Sobrelevación promedio (peralte)	fracción	D•
8 Altitud del terreno	m	1 000.00
9 Número efectivo de carriles	Código: 1-Uno 0- Más de uno	0.00

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

Selección del vehículo, tipo de vehículo:	4.00

4 utilitario (vehículo ligero: utilitario o automóvil)∗

∗ (Los datos en negrillas fueron definidos por los autores para una URVAN NISSAN MODELO 2019, CON MOTOR DE 139 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	**1,680.00**
2 Carga útil	kg	**1,030.00**
3 Potencia máxima en operación	HP métrico	**63.87**
4 Potencia máxima del freno	HP métrico	**51.91**
5 Velocidad deseada	km/h	**110.00**
6 Coeficiente aerodinámico de arrastre	adimensional	0.46
7 Área frontal proyectada	m^2	**2.58**
8 Velocidad calibrada del motor	RPM	**3 700.00**
9 Factor de eficiencia energética	adimensional	**0.80**
10 Factor de ajuste de combustible	adimensional	**1.16**

Características de los neumáticos

1 Número de llantas por vehículo	#	**4.00**
2 Volumen de hule utilizable por llanta	dm^3	0.00
3 Costo de renovación/costo llanta nueva	fracción	**0.38**
4 Máximo número de renovaciones	adimensional	0.00
5 Término const del modelo de desgaste	m^3/m	0.00
6 Coeficiente de desgaste	10E-3 dm^3/kj	0.00

Datos sobre la utilización del vehículo

1 Número de km conducidos por año	km	**25 000.00**
2 Número de horas conducidas por año	horas	**2 808.00**
3 Índice de utilización horaria	fracción	**0.60**
4 Vida útil promedio de servicio	años	**6.00**
5 ¿Usar vida útil constante?	Código: 1-Sí 0-No	**1.00**
6 Edad del vehículo, en kilómetros	km	**75 000.00**
7 Número de pasajeros por vehículo	#	**2.00**

Costos unitarios en pesos, precios 2019

1 Precio del vehículo nuevo	$	**316,408.91**
2 Costo del combustible	$/litro	**16.86**
3 Costo de los lubricantes	$/litro	**36.20**
4 Costo por llanta nueva	$/llanta	**1 030.20**
5 Tiempo de los operarios	$/hora	**28.81**
6 Tiempo de los pasajeros	$/hora	**0.00**
7 Mano de obra de mantenimiento	$/hora	**27.76**
8 Retención de la carga	$/hora	**0.00**
9 Tasa de interés anual	%	**4.09**
10 Costos indirectos por veh-km	$	**0.49**

Coeficientes adicionales

1 KP	Refacciones		0.31
2 CPo	Refacciones	10E-6	32.49
3 CPq	Refacciones	10E-3	13.70
4 QIPo	Refacciones		120.00
5 CLo	Mantenimiento		77.14
6 CLp	Mantenimiento		0.55
7 CLq	Mantenimiento		0.00
8 COo	Lubricantes		1.55
9 FRATIOo	VCURVE		0.22
10 FRATIO1	VCURVE	10E-4	0.00
11 ARVMAX	VROUGH		239.70
1 BW	VDESIR		1.00
2 BETA	Velocidad		0.31
3 Eo	Velocidad		1.00
4 Ao	Combustible		6 014.00
5 A1	Combustible		37.60
6 A2	Combustible		0.00
7 A3	Combustible		3 846.00
8 A4	Combustible		1.40
9 A5	Combustible		0.00
10 A6	Combustible		3 604.00
11 A7	Combustible		0.00
12NHO	Combustible		-12.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el Vehículo Ligero.

5 Cálculo de los costos de operación base

5.1 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 se ha 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; esto es, con curvatura y pendiente iguales a cero, 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 periódicamente los costos unitarios, utilizando precios promedio nacionales de los vehículos y consumos que se indican más adelante, para actualizar el costo base. Multiplicando este por el factor leído en las gráficas, se obtendrá el costo de operación buscado.

Los costos unitarios no deberán 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; 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.

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 5.8 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.

5.1.1 Camión articulado (T3-S3)

Tabla 5.1 Datos de Salida-Camión Articulado (T3-S3)

Tractocamión de tres ejes INTERNATIONAL 9200i con MOTOR CUMMINS ISX de 450 HP
Semirremolque de tres ejes, tipo caja de aluminio de 40 pies
Llantas 1100-20.00 normal

Consumos, por cada 1,000 veh-km

Consumo de combustible	litros	579.47
Uso de lubricantes	litros	5.45
Consumo de llantas	Núm. llantas nuevas equivalentes	0.39
Tiempo de operador	horas	12.21
Mano de obra de mantenimiento	horas	30.48
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.27
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.06
Intereses (tasa 4.09%)	% precio vehículo nuevo	0.01

Costos unitarios en pesos, precios 2019

Precio de vehículo nuevo	$	1 270 870.00
Costo de combustible	$/litro	18.41
Costo de lubricantes	$/litro	35.30
Costo de llanta nueva	$/llanta	2 676.50
Tiempo de operador	$/hora	60.32
Mano de obra de mantenimiento	$/hora	44.72
Tasa de interés anual	%	4.09
Costos indirectos por veh-km	$	1.83

Costo de operación base (pesos, por veh-km) $ 20.13

Consumo de combustible	$	10 668.08
Uso de lubricantes	$	192.45
Consumo de llantas	$	1 048.26
Tiempo de operador	$	736.47
Mano de obra de mantenimiento	$	1 362.97
Refacciones	$	3 469.93
Depreciación	$	708.83
Interés	$	115.96
Costos indirectos	$	1 830.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el T3-S3.

5.1.2 Camión articulado (T3-S2)

Tabla 5.2 Datos de Salida-Camión Articulado (T3-S2)

Tractocamión de tres ejes INTERNATIONAL 9200i con MOTOR CUMMINS ISX de 450 HP
Semirremolque de dos ejes, tipo caja de aluminio de 40 pies
Llantas 1100-20.00 normal

Consumos, por cada 1,000 veh-km

Consumo de combustible	litros	483.92
Uso de lubricantes	litros	5.45
Consumo de llantas	Núm. llantas nuevas equivalentes	0.33
Tiempo de operador	horas	11.48
Mano de obra de mantenimiento	horas	30.48
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.27
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.05
Intereses (tasa 4.09%)	% precio vehículo nuevo	0.01

Costos unitarios en pesos, precios 2019

Precio de vehículo nuevo	$	1 203 023.00
Costo de combustible	$/litro	18.41
Costo de lubricantes	$/litro	35.30
Costo de llanta nueva	$/llanta	2 676.50
Tiempo de operador	$/hora	60.32
Mano de obra de mantenimiento	$/hora	44.72
Tasa de interés anual	%	4.09
Costos indirectos por veh-km	$	1.61

Costo de operación base (pesos, por veh-km) $ 17.68

Consumo de combustible	$	8 908.88
Uso de lubricantes	$	192.45
Consumo de llantas	$	887.03
Tiempo de operador	$	692.29
Mano de obra de mantenimiento	$	1 362.97
Refacciones	$	3 284.69
Depreciación	$	638.25
Interés	$	104.42
Costos indirectos	$	1 610.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el T3-S2.

5.1.3 Camión articulado (T3-S2-R4)

Tabla 5.3 Datos de Salida-Camión Articulado (T3-S2-R4)

Tractocamión de tres ejes INTERNATIONAL 9200i con MOTOR CUMMINS ISX de 450 HP
Semirremolque de dos ejes y remolque de cuatro ejes, tipo caja de aluminio de 40 pies.
Llantas 1100-20.00 normal

Consumos, por cada 1,000 veh-km

Consumo de combustible	litros	760.89
Uso de lubricantes	litros	5.45
Consumo de llantas	Núm. llantas nuevas equivalentes	0.56
Tiempo de operador	horas	14.21
Mano de obra de mantenimiento	horas	30.48
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.27
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.06
Intereses (tasa 4.09%)	% precio vehículo nuevo	0.01

Costos unitarios en pesos, precios 2019

Precio de vehículo nuevo	$	1 405 180.00
Costo de combustible	$/litro	18.41
Costo de lubricantes	$/litro	35.30
Costo de llanta nueva	$/llanta	2 676.50
Tiempo de operador	$/hora	60.32
Mano de obra de mantenimiento	$/hora	44.72
Tasa de interés anual	%	4.09
Costos indirectos por veh-km	$	2.28

Costo de operación base (pesos, por veh-km) $ 25.07

Consumo de combustible	$	14 007.99
Uso de lubricantes	$	192.45
Consumo de llantas	$	1 497.68
Tiempo de operador	$	856.85
Mano de obra de mantenimiento	$	1 362.97
Refacciones	$	3 836.65
Depreciación	$	887.92
Interés	$	145.26
Costos indirectos	$	2 280.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el T3-S2-R4.

5.1.4 Camión de tres ejes

Tabla 5.4 Datos de Salida-Camión de Tres Ejes

Camión pesado tres ejes INTERNATIONAL 4400 con motor NAVISTAR DT 466
Carrocería de “estacas” 2.44 x 2.10 m x 23 pies
Llantas 1100-20.00 normal

Consumos, por cada 1,000 veh-km

Consumo de combustible	litros	446.79
Uso de lubricantes	litros	3.37
Consumo de llantas	Núm. llantas nuevas equivalentes	0.24
Tiempo de operador	horas	13.41
Mano de obra de mantenimiento	horas	12.43
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.21
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.06
Intereses (tasa 4.09%)	% precio vehículo nuevo	0.01

Costos unitarios en pesos, precios 2019

Precio de vehículo nuevo	$	642 807.63
Costo de combustible	$/litro	18.41
Costo de lubricantes	$/litro	35.30
Costo de llanta nueva	$/llanta	2 676.50
Tiempo de operador	$/hora	53.46
Mano de obra de mantenimiento	$/hora	44.72
Tasa de interés anual	%	4.09
Costos indirectos por veh-km	$	1.21

Costo de operación base (pesos, por veh-km) $ 13.31

Consumo de combustible	$	8 225.49
Uso de lubricantes	$	119.02
Consumo de llantas	$	631.64
Tiempo de operador	$	716.87
Mano de obra de mantenimiento	$	556.08
Refacciones	$	1 381.22
Depreciación	$	400.58
Interés	$	65.53
Costos indirectos	$	1 210.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el C3.

5.1.5 Camión de dos ejes

Tabla 5.5 Datos de Salida-Camión de Dos Ejes

Camión pesado dos ejes INTERNATIONAL 4300 con motor NAVISTAR DT 466
Carrocería de “estacas” 2.44 x 2.10 m x 22 pies
Llantas 1100-20.00 normal

Consumos, por cada 1,000 veh-km

Consumo de combustible	litros	328.45
Uso de lubricantes	litros	3.37
Consumo de llantas	Núm. llantas nuevas equivalentes	0.16
Tiempo de operador	horas	13.09
Mano de obra de mantenimiento	horas	8.18
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.15
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.06
Intereses (tasa 4.09%)	% precio vehículo nuevo	0.01

Costos unitarios en pesos, precios 2019

Precio de vehículo nuevo	$	541 589.63
Costo de combustible	$/litro	18.41
Costo de lubricantes	$/litro	35.30
Costo de llanta nueva	$/llanta	2 676.50
Tiempo de operador	$/hora	53.46
Mano de obra de mantenimiento	$/hora	44.72
Tasa de interés anual	%	4.09
Costos indirectos por veh-km	$	0.88

Costo de operación base (pesos, por veh-km) $ 9.72

Consumo de combustible	$	6 046.82
Uso de lubricantes	$	119.02
Consumo de llantas	$	427.23
Tiempo de operador	$	699.95
Mano de obra de mantenimiento	$	365.71
Refacciones	$	792.36
Depreciación	$	331.13
Interés	$	54.17
Costos indirectos	$	880.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el C2.

5.1.6 Autobús foráneo

Tabla 5.6 Datos de Salida-Autobús Foráneo

Autobús integral foráneo, con motor SCANIA DC12 02 EPA de 380 HP
Sin aire acondicionado
Llantas 1100-22.00 normal

Consumos, por cada 1,000 veh-km

Consumo de combustible	litros	398.63
Uso de lubricantes	litros	3.37
Consumo de llantas	Núm. llantas nuevas equivalentes	0.26
Tiempo de operador	horas	11.47
Mano de obra de mantenimiento	horas	11.06
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.13
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.05
Intereses (tasa 4.09%)	% precio vehículo nuevo	0.01

Costos unitarios en pesos, precios 2019

Precio de vehículo nuevo	$	2 234 082.00
Costo de combustible	$/litro	18.41
Costo de lubricantes	$/litro	35.30
Costo de llanta nueva	$/llanta	2 859.00
Tiempo de operador	$/hora	74.46
Mano de obra de mantenimiento	$/hora	64.64
Tasa de interés anual	%	4.09
Costos indirectos por veh-km	$	1.41

Costo de operación base (pesos, por veh-km) $ 15.48

Consumo de combustible	$	7 338.73
Uso de lubricantes	$	119.02
Consumo de llantas	$	745.71
Tiempo de operador	$	853.84
Mano de obra de mantenimiento	$	714.79
Refacciones	$	2 984.87
Depreciación	$	1 128.47
Interés	$	184.62
Costos indirectos	$	1 410.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el Autobús.

5.1.7 Vehículo ligero

Tabla 5.7 Datos de Salida-Vehículo Ligero

URVAN Nissan, con motor de 139 HP
Llantas Firestone convencionales

Consumos, por cada 1,000 veh-km

Consumo de combustible	litros	172.08
Uso de lubricantes	litros	1.85
Consumo de llantas	Núm. llantas nuevas equivalentes	0.06
Tiempo de operador	horas	10.68
Mano de obra de mantenimiento	horas	2.18
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.15
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.30
Intereses (tasa 4.09%)	% precio vehículo nuevo	0.04

Costos unitarios en pesos, precios 2019

Precio de vehículo nuevo	$	316 408.91
Costo de combustible	$/litro	16.86
Costo de lubricantes	$/litro	36.20
Costo de llanta nueva	$/llanta	1 030.20
Tiempo de operador	$/hora	28.81
Mano de obra de mantenimiento	$/hora	27.76
Tasa de interés anual	%	4.09
Costos indirectos por veh-km	$	0.49

Costo de operación base (pesos, por veh-km) $ 5.44

Consumo de combustible	$	2 901.22
Uso de lubricantes	$	67.03
Consumo de llantas	$	61.66
Tiempo de operador	$	307.78
Mano de obra de mantenimiento	$	60.47
Refacciones	$	465.81
Depreciación	$	964.13
Interés	$	118.30
Costos indirectos	$	490.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el Vehículo Ligero.

Tabla 5.8 Cargo por concepto de intereses para diferentes tasas reales (% del precio del vehículo nuevo, por cada 1,000 veh-km)

Tasa real %	Camión tres ejes	Camión dos ejes	Autobús foráneo	Vehículo ligero
2	0.00	0.00	0.00	0.02
4	0.01	0.01	0.01	0.04
6	0.01	0.01	0.01	0.05
8	0.02	0.02	0.02	0.07
10	0.02	0.02	0.02	0.09
12	0.03	0.03	0.02	0.11
14	0.03	0.03	0.03	0.13
16	0.04	0.04	0.03	0.15
18	0.04	0.04	0.04	0.16
20	0.05	0.05	0.04	0.18

Tasa real %	Camión articulado (T3-S3)	Camión articulado (T3-S2)	Camión articulado (T3-S2-R4)
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	0.04	0.04	0.05

6 Ejemplo de aplicación

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

Considérense las carreteras Coatzacoalcos-Salina Cruz y Mazatlán-Tepic de la Red Carretera Nacional, con los volúmenes de tránsito y composiciones aforados en 2019, en las estaciones que se indican:

TRAMO	TDPA	A	B	C	ESTACIÓN
Coatzacoalcos-Salina Cruz	10,099	76.6%	2.5%	20.9%	Acayucan
Mazatlán-Tepic	8,580	77.4%	2.8%	19.8%	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 con la siguiente fórmula:

$$\mathbf{COA = Fb \times CB \times TDPA \times 365}$$

Donde:

COA Costo de operación anual, por kilómetro, para todos los vehículos de un mismo tipo

Fb 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 Costo de Operación Base del vehículo, obtenido en el apartado correspondiente de esta publicación

TDPA Tránsito Diario Promedio Anual del vehículo

365 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 (T3-S3) y** el **camión de dos ejes (C2)**, respectivamente.

Los resultados intermedios para llegar a los **costos de operación anuales por kilómetro**, en cada tramo, se presentan en las tablas 6.1 y 6.2.

Tabla 6.1 Factores del costo de operación base
Terreno sensiblemente plano

Tipo de vehículo	**Estado superficial**		
	Muy bueno	**Regular**	**Malo**
Vehículo ligero	1.04	1.10	1.17
Autobús foráneo	1.13	1.17	1.21
Camión de dos ejes	1.12	1.22	1.30
Camión articulado	1.15	1.22	1.30

Fuente: Elaboración propia, derivada de los cálculos realizados con el software VOC (versión 4.0) para los diferentes vehículos.

Es importante resaltar (tabla 6.1) que el incremento porcentual que sufren los vehículos -en su costo de operación- al transitar sobre caminos progresivamente más deteriorados, es sensiblemente mayor en los 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 7%, elevando su costo base un 15% al circular sobre un camino malo. En el caso del camión de dos ejes, la diferencia en el costo de operación al recorrer un camino regular es del orden del 10% y de un 18% en un camino malo respecto a uno en buenas condiciones. Por lo que se refiere a un vehículo ligero, el sobrecosto es del 6% si circula en un camino regular y de un 13% al hacerlo en uno en mal estado.

Si se consideran los costos en valor monetario (tabla 6.2) obtenidos al multiplicar los factores de la tabla 6.1 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; aun cuando en porcentaje el incremento sea mayor en este último.

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

La tabla 6.3 muestra los **costos por kilómetro** que asumen los propietarios de todos los vehículos que se supone transitan **durante un año** en el tramo Coatzacoalcos-Salina Cruz; con base en el TDPA (10,099 vehículos) y su composición mostrada al principio de este apartado. Cuando el camino se encuentra en muy buenas condiciones, los costos anuales de los usuarios por

kilómetro recorrido son de 28.41 millones de pesos; un millón setecientos treinta mil pesos más si el estado es regular y un millón novecientos diez mil pesos adicionales si 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 6.2 Costos de operación ($/veh-km)

Tipo de vehículo	Estado superficial		
	Muy bueno	**Regular**	**Malo**
Vehículo ligero	5.68	5.98	6.38
Autobús foráneo	17.47	18.11	18.69
Camión de dos ejes	10.91	11.82	12.62
Camión articulado	23.14	24.65	26.12

Fuente: Elaboración propia, derivada de los cálculos realizados con el software VOC (versión 4.0) para los diferentes vehículos.

Tabla 6.3 Coatzacoalcos-Salina Cruz Costos de operación del tránsito anual (Millones de pesos/km)

Tipo de vehículo	Estado superficial		
	Muy bueno	**Regular**	**Malo**
Vehículo ligero	16.04	16.89	18.01
Autobús foráneo	1.61	1.67	1.72
Camión de dos ejes	6.30	6.83	7.29
Camión articulado	4.46	4.75	5.03
Tránsito Anual	**28.41**	**30.14**	**32.05**

Fuente: Elaboración propia, derivada de los cálculos realizados con los datos iniciales del ejemplo de aplicación.

Para el caso Mazatlán-Tepic, considerando el TDPA (8,580 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 6.4: 23.96 millones de pesos cuando el camino está en muy buen estado, un millón cuatrocientos cincuenta mil pesos más por kilómetro si la superficie guarda un estado regular, y un millón seiscientos diez 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 de una conservación eficaz diseñada para un periodo prolongado.

Como puede observarse, los sobrecostos de operación del 19.31% y del 18.63% al pasar de un estado superficial muy bueno a uno regular, y de uno regular a uno malo, respectivamente, en el tramo Coatzacoalcos-Salina Cruz, con respecto al de Mazatlán-Tepic (tabla 6.5), se deben al 17.70% más del tránsito anual del primero

y a una mayor presencia absoluta de vehículos ligeros y camiones; aun cuando su composición vehicular es la misma en términos porcentuales. Asimismo, en el tramo Coatzacoalcos-Salina Cruz circulan 5% más autobuses.

Tabla 6.4 Mazatlán-Tepic
Costos de operación del tránsito anual
(Millones de pesos/km)

Tipo de vehículo	**Estado superficial**		
	Muy bueno	**Regular**	**Malo**
Vehículo ligero	13.77	14.50	15.46
Autobús foráneo	1.53	1.59	1.64
Camión de dos ejes	5.07	5.50	5.87
Camión articulado	3.59	3.82	4.05
Tránsito Anual	**23.96**	**25.41**	**27.02**

Fuente: Elaboración propia, derivada de los cálculos realizados con los datos iniciales del ejemplo de aplicación.

Tabla 6.5 Sobrecostos de operación anuales por km
(Millones de pesos y porcentaje)

Tramo	**Muy bueno-Regular**		**Regular-Malo**	
	$	%	$	%
Coatzacoalcos-Salina Cruz	1.73	6.09	1.91	6.34
Mazatlán-Tepic	1.45	6.05	1.61	6.34

Fuente: Elaboración propia, derivada de los cálculos realizados con los datos iniciales del ejemplo de aplicación.

Para tener una idea aproximada del sobrecosto que tiene un camino en malas condiciones, respecto a otro en buen estado, se dirá que un tramo supuesto de 100 km del camino Coatzacoalcos-Salina Cruz cuesta trescientos sesenta y cuatro 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 trescientos seis millones de pesos anuales.

7 Conclusiones y recomendaciones

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

Finalmente, se hacen las últimas reflexiones y recomendaciones con relación 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, así como 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 (falta de conservación, o conservación inadecuada), cubre con suficiencia los montos necesarios para mantener índices de servicio altos (rugosidades bajas), por periodos razonablemente prolongados. En otras palabras, un supuesto ahorro al aplicar acciones de conservación baratas que no atacan los problemas de raíz, pero que alcanzan para "hacer algo" en el mayor número de kilómetros, significaría varios millones de pesos al país por el costo adicional de operación que implica a 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 bajar los costos de operación de los usuarios.

Es importante comentar que en términos de diseño y construcción iniciales, resulta conveniente gastar más en la construcción de carreteras, para contar con estructuras estables y pavimentos resistentes y, con ello, caminos más durables, con menos interrupciones al tránsito para su conservación y, por tanto, más seguros, además de acumulativamente más económicos para los usuarios y la nación -en general-, que gastar menos en la inversión inicial, buscando un ahorro fugaz que repercute en altos costos de conservación a la dependencia responsable, y de operación a los usuarios, -por ende-, al país en su conjunto durante toda la vida útil de la carpeta.

Habrá 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 esta, 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,

crecimiento anual, ritmos de deterioro de los caminos y tamaño de los montos de inversión implicados.

Bibliografía

Aguerrebere, R. y Cepeda, F. *Elementos de Proyecto y Costos de Operación en Carreteras*, Publicación Técnica No. 20, Instituto Mexicano del Transporte, SCT, 1991.

Aguerrebere, R. y Cepeda, F., *Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras*, Publicación Técnica No. 30, Instituto Mexicano del Transporte, SCT, 1991.

Archondo-Callao, R. S. and Faiz, A. *Estimating Vehicle Operating Costs*, Technical Paper number 234, The World Bank, Washington, D. C., 1994.

Arroyo, J. A. y Aguerrebere, R. *Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras*, Publicación Técnica No. 202, Instituto Mexicano del Transporte, SCT, 2001.

Arroyo, J. A. y Aguerrebere, R. *Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2006*, Publicación Técnica No. 282, Instituto Mexicano del Transporte, SCT, 2006.

Arroyo, J. A., Aguerrebere, R. y Torres, G. *Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2008*, Publicación Técnica No. 316, Instituto Mexicano del Transporte, SCT, 2008.

Arroyo, J. A., Aguerrebere, R. y Torres, G. *Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2010*, Publicación Técnica No. 337, Instituto Mexicano del Transporte, SCT, 2010.

Arroyo, J. A., Aguerrebere, R. y Torres, G. *Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2012*, Publicación Técnica No. 368, Instituto Mexicano del Transporte, SCT, 2012.

Arroyo, J. A., Aguerrebere, R. y Torres, G. *Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2014*, Publicación Técnica No. 407, Instituto Mexicano del Transporte, SCT, 2014.

Arroyo, J. A., Torres, G., González, J. A. y Hernández, S. *Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2016*, Publicación Técnica No. 471, Instituto Mexicano del Transporte, SCT, 2016.

Arroyo, J. A., Torres, G., González, J. A. y Hernández, S. *Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2018*, Publicación Técnica No. 526, Instituto Mexicano del Transporte, SCT, 2018.

Bennett, C. R. and Paterson, W. D. O. *Documentación de HDM-4, Versión 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*, Published for The World Bank, 1987.

Durán, G, Modelo VOCMEX, traducción de Vehicle operating costs model, versión 3.0, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México (1994)

Gobierno de la República, *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*, México.

The World Bank, *Vehicle Operating Costs Model, VOC. Versión 4.0*, Washington, D. C., 1993.

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, Vol. 1 y 2, The World Bank (1987)

Fuentes

- Banco de México - BANXICO (portal en Internet).
- Comisión Reguladora de Energía - CRE (portal en Internet).
- Diversas agencias autorizadas: International, Scania, Mercedes-Benz, Volvo, Chevrolet, Nissan, MAREQSA.
- Empresas fabricantes y renovadoras de neumáticos como Goodyear, Uniroyal y Firestone.
- Petróleos Mexicanos - PEMEX (portal en Internet).
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes - SCT (portal en Internet).
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público (portal en Internet).

Anexo 1 Información técnica de los vehículos utilizados

La siguiente información ofrece las características técnicas de los vehículos utilizados para realizar los cálculos mediante el programa VOCMEX, más algunos datos 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	International 4400	International 4300	Scania K 380	URVAN Nissan
Peso del vehículo vacío (kg)	19,436	17,436	29,436	6,939.70	5,501.60	17,500	1,680
Carga util (kg)	35,109	25,000	48,000	17,554.30	10,374.10	7,500	1,030
Potencia neta del motor (HP)	450	450	450	250	215	380	139
Área frontal proyectada (mˆ2)	9.136	9.136	9.136	6.055	6.055	6.981	2.577
Velocidad calibrada del motor (rpm)	1,700	1,700	1,700	2,100	2,100	1,700	3,700
Equipo de carga	Semirremolque 3 ejes, 40 pies	Semirremolque 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	Firestone normales
Costo de la llanta nueva ($)	2,676.50	2,676.50	2,676.50	2,676.50	2,676.50	2,859.00	1,030.20
Costo de la llanta renovada ($)	883.25	883.25	883.25	883.25	883.25	943.47	391.48
Precio del vehículo nuevo ($)	1’270,870.00	1’203,023.00	1'405,180.00	642,807.63	541,589.63	2'234,082.00	316,408.91

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

Notas:

El área frontal proyectada de los vehículos fue obtenida restando el área que se encuentra en la parte inferior del chasis.

Precios unitarios, actualizados al 2019.

Todos los precios están libres de impuestos.

Anexo 2 Velocidades, consumos y rendimientos de combustible de algunos tractocamiones

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

RECORRIDO	UNIDAD	MODELO	CARGA (t)	VELOCIDAD (km/h)	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (lt)	RENDIMIENTO (km/lt)
San J del Río-Edo de Mex-San J del Río	T3-S2-R4	2005	41.8	58.93	165.89	1.70
Querétaro-Cd de Méx-Querétaro	T3-S2-R4	2004	43.8	60.98	185.00	1.67
Cd Mante-Cd Victoria-Cd Mante	T3-S3	1998	34	62.74	192.15	1.37
Veracruz-Perote-Veracruz	T3-S2	1996	30	44.50	217.03	1.47
Veracruz-Casablanca-Veracruz	T3-S2	1995	20	42.31	141.76	2.01
Uruapan-Infiernillo-Uruapan (Mich)	C3	1993	15.45	59.98	60.03	4.22
Liconsa-Tejupilco-Liconsa (Edo de Méx)	C3	1994	14.00	43.88	107.00	2.94
Cd de Méx-La Tinaja, Ver-Cd de Méx	C2	2005	13.50	64.5	65.56	5.32
Sn J del Río-Edo de Méx-Sn J del Río	C2	2004	12.00	75	61.50	4.58
Delicias-Chih-Parral-Chih-Delicias (Chih)	Autobús	1997	--------	80.94	96.67	5.58
Chihuahua-Ojinaga-Chihuahua	Autobús	1997	--------	67.70	114.89	3.97

Fuente: Rafael Morales, Mercedes Y, Información recopilada de los cursos de capacitación de conducción técnica de vehículos automotores diésel, impartidos por investigadores del Área de Ahorro de Energía de la Coordinación de Equipamiento para el Transporte, del Instituto Mexicano del Transporte, 2001-2014, Sanfandila, Querétaro, México.

Nota:

La información corresponde a los cursos de capacitación en la Metodología de conducción técnica de vehículos automotores diésel, impartidos por personal de la Coordinación de Equipamiento para el Transporte, del IMT, a diversas empresas de autotransporte durante el periodo 2001-2014.

Nótese que los datos son muy semejantes a los obtenidos mediante el programa VOCMEX, dependiendo del tipo de terreno. Por ejemplo, para la ruta San Juan del Río-Estado de México-San Juan del Río, se tiene una velocidad de 58.93 km/h en la práctica, y 53.11 km/h en la corrida del programa VOCMEX, para un vehículo de ese tipo.

Anexo 3 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: Autoagrupación de Líneas, S.A. de C.V., Autolíneas América, Centauros del Sureste, S.A. de C.V., Figo Transport, S.A. de C.V., GRUPO NASA, S.A. de C.V., ROADWAY, SCHNEIDER, Transportación Terrestre Nacional, Transportadora Hercel, S.A. de C.V., Transportadora Nacional, S.A. de C.V., Transportes EASO, S.A. de C.V., Transportes Escobedo, Transportes Grijalva, S.A. de C.V., Transportes GYM, Transportes PITIC y TRAS LADA, S.A. de C.V.

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 1	México-Nuevo-Laredo	$ 1 600.00 USD
	Nuevo Laredo-México	$ 1 700.00 USD
	México-Cd. Juárez	$ 2 500.00 USD
	Cd. Juárez-México	$ 2 750.00 USD
	México-Querétaro	$ 650.00 USD
	Querétaro-México	$ 650.00 USD
(Caja de 48 ft)	México-Nuevo Laredo	$ 1 600.00 USD
	Nuevo Laredo-México	$ 1 650.00 USD

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 2	México-Nuevo-Laredo	$ 1 600.00 USD
	Nuevo Laredo-México	$ 1 900.00 USD
(Caja de 40 ft)	México-Monterrey	$ 1 500.00 USD
	Monterrey-México	$ 1 400.00 USD

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 3	México-Nuevo-Laredo	$ 31 000.00
	Nuevo Laredo-México	$ 32 000.00
(Caja de 40 ft)	México-Querétaro	$ 9 500.00
	Querétaro-México	$ 9 000.00

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 4	México-Nuevo-Laredo	$ 33 000.00
	Nuevo Laredo-México	$ 36 000.00
(Caja de 40 ft)	México-Querétaro	$ 10 000.00
	Querétaro-México	$ 9 500.00

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 5	México-Nuevo-Laredo	$ 32 000.00
	Nuevo Laredo-México	$ 34 000.00
(Caja de 40 ft)	México-Querétaro	$ 10 000.00
	Querétaro-México	$ 9 500.00

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 6	México-Nuevo-Laredo	$ 29 000.00
	Nuevo Laredo-México	$ 29 500.00
(Caja de 40 ft)	México-Cd. Juárez	$ 45 000.00
	Cd. Juárez-México	$ 46 000.00
	México-Querétaro	$ 10 500.00
	Querétaro-México	$ 9 500.00

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 7	Querétaro-Guadalajara	$ 12 000.00
(Caja de 40 ft)	Guadalajara-Querétaro	$ 11 000.00

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 8	México-Nuevo Laredo	$ 29 500.00
(Torton de 15 t)	Nuevo Laredo-México	$ 30 000.00

Fuente: Diversas empresas de transporte de carga.

Nota: El costo del flete no incluye el IVA Tipo de cambio: 1 dólar=$ 19.01 MN

Distancia entre 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	México-Nuevo-Laredo	$ 25.62
	Nuevo Laredo-México	$ 27.23
	México-Cd. Juárez	$ 26.11
	Cd. Juárez-México	$28.72
	México-Querétaro	$ 57.47
	Querétaro-México	$ 57.47
(Caja de 48 ft)	México-Nuevo Laredo	$ 25.62
	Nuevo Laredo-México	$ 26.43

Empresa	Ruta	Costo del flete ($/km)
Empresa 2	México-Nuevo-Laredo	$ 25.62
	Nuevo Laredo-México	$ 30.43
(Caja de 40 ft)	México-Monterrey	$ 28.83
	Monterrey-México	$ 26.91

Empresa	Ruta	Costo del flete ($/km)
Empresa 3	México-Nuevo-Laredo	$ 26.12
	Nuevo Laredo-México	$ 26.96
(Caja de 40 ft)	México-Querétaro	$ 44.19
	Querétaro-México	$ 41.86

Empresa	Ruta	Costo del flete ($/km)
Empresa 4	México-Nuevo-Laredo	$ 27.80
	Nuevo Laredo-México	$ 30.33
(Caja de 40 ft)	México-Querétaro	$ 46.51
	Querétaro-México	$ 44.19

Empresa	Ruta	Costo del flete ($/km)
Empresa 5	México-Nuevo-Laredo	$ 26.96
	Nuevo Laredo-México	$ 28.64
(Caja de 40 ft)	México-Querétaro	$ 46.51
	Querétaro-México	$ 44.19

Empresa	Ruta	Costo del flete ($/km)
Empresa 6.	México-Nuevo-Laredo	$ 24.43
	Nuevo Laredo-México	$ 24.85
(Caja de 40 ft)	México-Cd. Juárez	$ 24.73
	Cd. Juárez-México	$ 25.27
	México-Querétaro	$ 48.84
	Querétaro-México	$ 44.19

Empresa	Ruta	Costo del flete ($/km)
Empresa 7	Querétaro-Guadalajara	$ 32.88
(Caja de 40 ft)	Guadalajara-Querétaro	$ 30.14

Empresa	Ruta	Costo del flete ($/km)
Empresa 8	México-Nuevo Laredo	$ 24.85
(Torton de 15 t)	Nuevo Laredo-México	$ 25.27

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 9	México-Veracruz	$ 25 000.00
	Veracruz-México	$ 25 500.00
(Caja de 40 ft)	México-Villahermosa	$ 28 000.00
	Villahermosa-México	$ 28 000.00
	México-Mérida	$ 37 000.00
	Mérida-México	$ 37 000.00

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 10	México-Veracruz	$ 18 200.00
	Veracruz-México	$ 17 000.00
(Caja de 40 ft)	México-Tuxtla Gutiérrez	$ 27 000.00
	Tuxtla Gutiérrez-México	$ 25 000.00

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 11	México-Veracruz	$ 17 500.00
	Veracruz-México	$ 17 500.00
(Caja de 40 ft)	México-Guadalajara	$ 20 000.00
	Guadalajara-México	$ 19 000.00

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 12	México-Tuxtla Gutiérrez	$ 30 000.00
(Caja de 40 ft)	Tuxtla Gutiérrez-México	$ 29 000.00
	(viaje redondo)	$ 56 000.00

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 13	México-Mérida	$ 35 500.00
(Caja de 40 ft)	Mérida-México	$ 36 000.00

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 14	México-Tuxtla Gutiérrez	$ 32 000.00
(Caja de 40 ft)	Tuxtla Gutiérrez-México	$ 31 000.00
	(sobre 28 t)	$ 35 000.00
	(sobre 28 t)	$ 32 000.00

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 15	México-Veracruz	$ 19 000.00
(Caja de 40 ft)	(no tienen viajes de regreso)	

Fuente: Diversas empresas de transporte de carga.

Nota: El costo del flete no incluye el IVA Tipo de cambio: 1 dólar=$ 19.01 MN

Distancia entre 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	$ 57.74
	Veracruz-México	$ 58.89
(Caja de 40 ft)	México-Villahermosa	$ 30.67
	Villahermosa-México	$ 30.67
	México-Mérida	$ 25.38
	Mérida-México	$ 25.38

Empresa	Ruta	Costo del flete ($/km)
Empresa 10	México-Veracruz	$ 42.03
	Veracruz-México	$ 39.26
(Caja de 40 ft)	México-Tuxtla Gutiérrez	$ 26.21
	Tuxtla Gutiérrez-México	$ 24.27

Empresa	Ruta	Costo del flete ($/km)
Empresa 11	México-Veracruz	$ 40.42
	Veracruz-México	$ 40.42
(Caja de 40 ft)	México-Guadalajara	$ 34.48
	Guadalajara-México	$ 32.76

Empresa	Ruta	Costo del flete ($/km)
Empresa 12	México-Tuxtla Gutiérrez	$ 29.13
(Caja de 40 ft)	Tuxtla Gutiérrez-México	$ 28.16
	(viaje redondo)	$ 27.18

Empresa	Ruta	Costo del flete ($/km)
Empresa 13	México-Mérida	$ 24.35
(Caja de 40 ft)	Mérida-México	$ 24.69

Empresa	Ruta	Costo del flete ($/km)
Empresa 14	México-Tuxtla Gutiérrez	$ 31.07
(Caja de 40 ft)	Tuxtla Gutiérrez-México	$ 30.10
	(sobre 28 t)	$ 33.98
	(sobre 28 t)	$ 31.07

Empresa	Ruta	Costo del flete ($/km)
Empresa 15	México-Veracruz	$ 43.88
(Caja de 40 ft)	(no tienen viajes de regreso)	

Empresa	Ruta	Costo del flete
Empresa 16	México-Nuevo-Laredo	$ 31 000.00
	Nuevo Laredo-México	$ 30 000.00
	Monterrey-Nuevo Laredo	$ 650.00 USD
	Nuevo Laredo-Monterrey	$ 650.00 USD
(Caja de 40 ft)	Guadalajara-Nuevo Laredo	$ 30 000.00
	Nuevo Laredo-Guadalajara	$ 34 000.00

Fuente: Diversas empresas de transporte de carga.

Nota: El costo del flete no incluye el IVA Tipo de cambio: 1 dólar=$ 19.01 MN

Distancia entre ciudades:

México-Nuevo Laredo 1,187 km
Monterrey-Nuevo Laredo 230 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	México-Nuevo-Laredo	$ 26.12
	Nuevo Laredo-México	$ 25.27
	Monterrey-Nuevo Laredo	$ 53.72
	Nuevo Laredo-Monterrey	$ 53.72
(Caja de 40 ft)	Guadalajara-Nuevo Laredo	$ 29.79
	Nuevo Laredo-Guadalajara	$ 33.76

Fuente: Diversas empresas de transporte de carga.

Nota: El costo del flete no incluye el IVA Tipo de cambio: 1 dólar=$ 19.01 MN

Nota:

Información actualizada al 2019.

Las cotizaciones del costo de los fletes fueron hechas con base en una carga de 20 t 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 48.70 $/km, según las cotizaciones; mientras el costo de operación, calculado mediante las herramientas presentadas en este trabajo para un T3-S3, es de 23.91 $/km, y para un T3-S2 es de 20.59 $/km, para un tipo de terreno semejante. Para la ruta México-Veracruz, el flete tiene un costo promedio de 46.02 $/km, mientras el costo de operación calculado para un T3-S3 es de 31.37 $/km y para un T3-S2 es de 26.19 $/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 de acuerdo con 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.

Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado-Galindo”
Parque Tecnológico San Fandila
Mpio. Pedro Escobedo, Querétaro, México
CP 76703
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

http://www.imt.mx/