



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE  
MEXICO

---

---

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA

MODELO TARIFARIO PARA AUTOPISTAS MEXICANAS  
DE ALTAS ESPECIFICACIONES  
ANALISIS BASADO EN UN ESTUDIO DE CASO DE LA  
AUTOPISTA MEXICO – CUENAVACA

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE DOCTOR EN  
INGENIERIA  
SISTEMAS – TRANSPORTE

PRESENTA  
FLORES HERNANDEZ SALVADOR



TUTOR  
ACOSTA FLORES JOSE JESUS



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PRESIDENTE: DR. ACEVES GARCIA RICARDO

SECRETARIO: DR. DARTOIS GIRALD LAURENT YVES GEORGES

1er. VOCAL: DR. ACOSTA FLORES JESUS

2°. VOCAL: MURRAY LASSO MARCO ANTONIO

3er. VOCAL: CEDILLO CAMPOS GASTON

## Agradecimientos

**¡Gran Dios todo poderoso y bueno!**, gracias por ser generoso conmigo, por siempre mi devoción hacía Ti ¡Contigo nada me falta!

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por haberme dado la oportunidad de realizar otros estudios y particularmente los de un doctorado en ingeniería. Agradezco a la Facultad de Ingeniería por introducirme en el mundo de la investigación y por los logros hasta ahora alcanzados.

En el transcurso de la realización de esta Tesis, he recibido ayuda, apoyo y confianza de muchas personas a las que también quiero manifestar mi agradecimiento. A mis directores de Tesis, que me han dado libertad para desarrollarla y me han guiado siempre con sugerencias el avance y progreso de este documento. Mis muestras de gratitud son limitadas comparadas con la generosidad y nobleza de todas aquellas personas que intervinieron en la conformación de este documento.

Dr. José Jesús Acosta Flores, deseo expresarle mi gratitud sincera; gracias por los consejos y paciencia que ha tenido a lo largo de la investigación y desarrollo de esta Tesis. Jamás podré olvidar la firmeza del Dr. Laurent Yves G. Dartois Girald y por las horas dedicadas en cada asesoría, valioso tiempo que a cada momento he de valorar. Para el Dr. Javier Suárez Rocha mi reconocimiento y admiración por sus atinadas intervenciones. También he recibido por parte del Dr. Arcadio Gamboa M. disposición para mejorar este documento, me congratulo por su asesoría y sus consejos.

Durante esta etapa, también he contado con la colaboración y confianza del Dr. Ricardo Aceves García. También a ti Ricardo por tu sabiduría para abrir mi mente al nuevo conocimiento. Como olvidar al Dr. Marco A. Murray Lasso. Sus juicios acertados y oportunos mejoraron la calidad de este trabajo. Para ellos mi profundo respeto. Tampoco olvidaré los consejos de Nelly; sus enseñanzas ayudaron a desarrollar esta investigación.

Por siempre agradeceré a un gran amigo: Raúl Huerta, por la información prestada y que derivó en los conocimientos adquiridos, ¡Gracias Raúl, sin tu ayuda no hubiese obtenido los resultados finales en este documento! Al Maestro en Ingeniería. José Luís Monsiváis L. mi agradecimiento por brindar su tiempo para aclarar dudas y aportar sus conocimientos para enriquecer este trabajo de investigación.

Una mención especial al Dr. Cedillo Campos, por sus discernimientos, reflexiones y madures que influyeron para optimizar la calidad de este trabajo. Para ti Gastón un profundo respeto.

A todos mis compañeros de trabajo, y me quiero referir especialmente a Josefina, Claudia, Sócrates, Alicia, René, Edgar, Alberto, José Luís, Juan y Héctor que, uno a uno ofrecieron sus valiosos consejos y comentarios acertados a este documento de tesis.

Finalmente, agradezco a mi familia, el mejor y más hermoso regalo que me proporcionado Dios, no quiero dejar de mencionar a ninguno de sus integrantes. Dedico esta Tesis a mi Esposa Aidé, a mis hijos Max y Romeo, a mi madre, a mi padre<sup>†</sup>, a mis hermanos, a Magali, a Ivonne y, especialmente a Iker, el más pequeño de la familia que, me ha hecho reflexionar que aún tengo pendientes en esta vida. A todos ellos ¡gracias por existir en mi vida!

## Lista del contenido

<b>Agradecimientos.....</b>	<b>i</b>
<b>Lista de contenido.....</b>	<b>ii</b>
<b>Lista de Tablas.....</b>	<b>x</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de Anexos.....</b>	<b>xiii</b>
<b>Lista de Apéndices.....</b>	<b>xiv</b>
<b>Lista de Abreviaturas.....</b>	<b>xv</b>
<b>Lista de Símbolos.....</b>	<b>xvii</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>1</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>2</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>3</b>
1.1. Algunos escenarios de las autopistas.....	4
1.1.1. Financiamiento.....	4
1.1.2. Comportamiento.....	5
1.1.3. Tarifas de cuota.....	5
1.2. Justificación.....	5
1.2.1. Los peajes el plano mundial.....	6
1.2.2. Tarifación en Europa.....	6
1.2.3. Clasificación de grupos de países.....	8
1.2.3.1. Alemania.....	8
1.2.3.2. Reino Unido.....	8
1.2.3.2.1. Euro túnel. ....	9
1.2.3.3. Korea.....	9
1.2.3.4. Perú.....	10
1.2.3.5. Brasil.....	11
1.2.3.6. Argentina.....	11
1.2.3.7. Estados Unidos.....	12
1.2.3.7.1. El caso de Florida – Miami.....	13
1.2.3.8. Japón.....	13
1.2.3.9. Ecuador.....	14
1.2.4. Peajes comparativos en algunos países.....	14
1.2.5. Gestión de ingresos en autopistas.....	16
1.2.5.1. Componentes de la técnica del (YM).....	17

1.2.5.2.	(YM) en el sistema carretero.....	17
1.2.5.3.	Políticas de aplicación de peajes.....	18
1.2.5.4.	Recursos escasos.....	19
1.2.5.5.	Autopistas afianzadas económicamente.....	19
1.2.5.6.	La tecnología como gestión de recursos.....	19
1.2.5.6.1.	La euro viñeta.....	19
1.2.5.6.2.	GO – Box.....	20
1.2.5.6.3.	TAG – IAVE.....	20
1.2.5.7.	Cobro de cuotas con SPG.....	20
1.2.6.	Observaciones y comentarios al YM.....	20
1.3.	El contexto mexicano.....	21
1.3.1.	Rebaja en las tarifas de cuota.....	21
1.3.2.	Las tarifas después del rescate carretero.....	22
1.3.3.	Criterios de fijación de tarifas fijadas.....	26
1.3.4.	Necesidad de un Modelo Tarifario Vehicular.....	27
1.4.	Objetivo general.....	27
1.4.1.	Objetivos particulares.....	27
1.5.	Alcances.....	27
1.6.	Delimitaciones.....	28
1.7.	Estructura de esta Tesis.....	28
<b>2.</b>	<b>Estado del arte.....</b>	<b>30</b>
2.1.	Revisión fundamental de modelos tarifarios.....	30
2.1.1.	Confrontación y comparación de aportes.....	38
2.1.1.1.	Modelos con estructura de costos.....	38
2.1.1.2.	Modelo econométrico.....	38
2.1.1.3.	Modelo estructurado con tarifa en dos partes.....	38
2.1.1.4.	Modelo con variables macroeconómicas.....	38
2.1.1.5.	Modelos equilibrados financieramente.....	39
2.1.1.6.	Modelo con algoritmo de estructura bi-nivel.....	39
2.1.1.7.	Modelo que involucra descargas por eje de vehículo.....	39
2.2.	Descripción de variables.....	39
2.2.1.	Tarifa de cuota.....	40
2.2.2.	Volúmenes de tránsito.....	40
2.2.3.	Composición vehicular.....	41
2.2.4.	Número de ejes equivalentes.....	49
2.2.5.	Costos de operación vehicular.....	49
2.2.6.	Región y tipo de terreno.....	43
2.2.7.	Longitud del tramo.....	44
2.2.8.	Índices de precios al consumidor.....	44
2.2.9.	Tipo de cambio.....	44
2.2.10.	Inversión (costos de construcción).....	45
2.2.11.	Costos variables.....	45
2.2.12.	Políticas de financiamiento.....	45
2.2.13.	Riesgos en la paridad de la moneda.....	46
2.2.14.	Métodos de cobro de peaje.....	46
2.3.	Análisis y discusión de modelos tarifarios.....	47

2.3.1.	Definición de modelo.....	47
2.3.2.	Supuestos teóricos de los modelos tarifarios.....	47
2.3.3.	Modelo tarifario de Vergara C., <i>et al</i> , (2002).....	47
2.3.3.1.	Teoría del modelo.....	48
2.3.3.2.	Ingeniería económica.....	48
2.3.3.3.	Criterios de movilidad.....	49
2.3.3.4.	Costos de mantenimiento.....	49
2.3.3.5.	Entorno del modelo.....	49
2.3.3.6.	Objetivo del modelo.....	49
2.3.3.7.	Fortalezas del modelo.....	49
2.3.3.8.	Debilidades del modelo.....	49
2.3.3.9.	Estructura del modelo de Vergara.....	50
2.3.3.10.	Observaciones intrínsecas al modelo.....	50
2.3.3.11.	Alcances de las variables.....	50
2.3.3.12.	Limitantes de las variables.....	51
2.3.3.13.	Adaptación particular del modelo de Vergara.....	51
2.3.3.14.	Elementos para adaptar el modelo.....	51
2.3.3.15.	Sustentos para la adaptación del modelo.....	52
2.3.3.16.	Modelo de Vergara en zona montañosa.....	52
2.3.3.17.	Representación analítica.....	52
2.3.3.18.	Aplicaciones en México.....	53
2.3.3.19.	Observaciones a los ejemplos de aplicación.....	54
2.3.4.	Modelo Tarifario de Bonifaz J., <i>et al</i> (2001).....	55
2.3.4.1.	Teoría de apoyo del modelo.....	55
2.3.4.2.	Índice de precios al consumidor.....	56
2.3.4.3.	Tipo de cambio.....	56
2.3.4.4.	Entorno del modelo.....	56
2.3.4.5.	Objetivo del modelo.....	56
2.3.4.6.	Fortalezas del modelo.....	56
2.3.4.7.	Debilidades del Modelo.....	57
2.3.4.8.	Variables que utiliza el modelo de Bonifaz J.....	57
2.3.4.9.	Observaciones internas al modelo de Bonifaz J.....	57
2.3.4.10.	Fortalezas de las variables.....	57
2.3.4.11.	Limitantes de las variables.....	58
2.3.4.12.	Arreglo particular en el Modelo de Bonifaz J.....	58
2.3.4.13.	Autopistas rentables.....	58
2.3.4.14.	Aplicación del modelo de Bonifaz J.....	59
2.3.4.15.	Observaciones a los ejemplos de aplicación.....	60
2.3.5.	Modelo tarifario de Hun., <i>et al</i> (2000).....	60
2.3.5.1.	Estructura matemática.....	60
2.3.5.2.	Objetivo del modelo.....	61
2.3.5.3.	Teoría del modelo.....	61
2.3.5.4.	Inversión extranjera directa.....	61
2.3.5.5.	Entorno del modelo.....	61
2.3.5.6.	Alcances del modelo.....	62
2.3.5.7.	Debilidades del modelo.....	62
2.3.5.8.	Fortalezas de las variables.....	63

2.3.5.9.	Debilidades de las variables.....	63
2.3.5.10.	Adaptación particular del modelo de Hun H.....	63
2.3.5.11.	Casos de aplicación en Korea.....	63
2.3.5.12.	Aplicación del Modelo de Hun H.....	64
2.3.5.13.	Observaciones a los ejemplos de aplicación.....	64
2.3.6.	Modelo tarifario de Rico A., <i>et al</i> (1995).....	64
2.3.6.1.	Objetivo del modelo.....	65
2.3.6.2.	Teoría del modelo.....	65
2.3.6.3.	Entorno.....	66
2.3.6.4.	Fortalezas del modelo.....	66
2.3.6.5.	Debilidades del modelo.....	66
2.3.6.6.	Estructura interna del modelo.....	66
2.3.6.7.	Variables que utiliza el modelo.....	66
2.3.6.8.	Fortalezas de las variables.....	67
2.3.6.9.	Limitantes de las variables.....	67
2.3.6.10.	Ejemplo de un caso particular.....	67
2.3.6.11.	Observaciones al ejemplo de aplicación.....	67
2.3.7.	El modelo tarifario utilizado en México.....	67
2.3.7.1.	Objetivo del modelo.....	68
2.3.7.2.	Entorno del modelo.....	68
2.3.7.3.	La existencia de otros cargos.....	68
2.3.7.4.	Estructura del modelo vigente.....	68
2.3.7.5.	Necesidad de ingresos.....	69
2.3.7.6.	Aplicación del modelo.....	69
2.3.8.	Resumen de tarifas de modelos.....	69
2.3.8.1.	Observaciones y comentario.....	70
2.3.9.	Eficiencia de los modelos tarifarios analizados.....	71
2.3.9.1.	Análisis de resultados.....	71
2.3.9.2.	Analogía entre los modelos de Vergara y Hun H.....	71
2.3.9.3.	Modelo de Bonifaz J.....	71
2.3.9.4.	Modelo de Rico A.....	71
2.3.9.5.	Modelo aplicado en México.....	72
2.3.9.6.	Analogía en los modelos de Bonifaz J. y el de México...	72
2.3.10.	Modelos tarifarios aplicables o no en México.....	72
2.3.11.	Escenarios del ambiente tarifario en México.....	73
2.4.	Ventajas de los modelos tarifarios analizados.....	73
2.4.1.	Modelo de Vergara.....	75
2.4.2.	Modelo de Bonifaz J.....	75
2.4.3.	Modelo de Hun H.....	76
2.4.4.	Modelo de Rico A.....	76
2.5.	Desventajas de los modelos analizados.....	77
2.5.1.	Modelo Tarifario de Vergara.....	77
2.5.2.	Modelo de Bonifaz J.....	77
2.5.3.	Modelo de Hun H.....	78
2.5.4.	Modelo de Rico A.....	78

<b>3. Metodología para actualizar tarifas de cuota.....</b>	<b>79</b>
3.1. Disertación sobre el método inductivo.....	79
3.1.1. Componentes del método inductivo de Bacon.....	79
3.2. Planteamiento de la metodología.....	80
3.3. Descripción del Trabajo.....	81
3.3.1. Diagrama de flujo.....	81
3.3.2. Limitaciones de la metodología.....	81
3.3.3. Observación e identificación.....	81
3.3.4. Adquisición de datos.....	82
3.3.5. Identificación de autopistas rentables.....	85
3.3.5.1. Condiciones para autopistas altamente rentable.....	85
3.3.5.2. Autopistas autofinanciables.....	86
3.3.6. Evaluación de autopistas rentables.....	87
3.3.6.1. Fundamentos económicos.....	88
3.3.6.2. Criterios de evaluación.....	88
3.3.6.2.1. Valor Presente Neto.....	88
3.3.6.2.2. Factores de interés discretos.....	89
3.3.6.2.3. Restricciones.....	89
3.3.6.2.4. Tasa de Rentabilidad Interna.....	89
3.3.6.2.5. Método gráfico para el cálculo de TRI.....	90
3.3.6.2.6. Periodo de Recuperación de Capital (Payback)...	91
3.3.6.2.7. Beneficio/Costo.....	92
3.3.7. Identificación de terrenos.....	92
3.3.8. Identificación de categorías vehiculares.....	93
3.3.8.1. Clasificación vehicular.....	93
3.3.8.2. Clasificación vehicular en otros países.....	94
3.3.9. Identificación de las Variables.....	94
3.3.9.1. Discriminación de variables.....	95
3.3.9.2. Restricción en el proceso.....	95
3.3.10. Preparación de datos.....	95
3.3.10.1. Observaciones.....	95
3.3.10.2. Registros.....	96
3.3.10.3. Tarifa de cuota e ingresos.....	96
3.3.10.4. Transito Diario Promedio Anual.....	96
3.3.10.5. Costo de deterioro.....	96
3.3.10.6. Costos por Congestión.....	98
3.3.10.7. Situaciones particulares de flujo vehicular.....	98
3.3.11. Conjunto de datos.....	99
3.3.12. Métodos de modelación.....	100
3.3.12.1. Programación Lineal – El problema del transporte.....	100
3.3.12.2. Ventajas del uso de (PL).....	101
3.3.12.3. Desventajas de (PL).....	102
3.3.12.4. Conclusiones sobre el uso de la PL.....	102
3.3.12.5. Redes Neuronales.....	103
3.3.12.6. Funcionamiento de una Neurona Artificial.....	103
3.3.12.7. Criterios para escoger la mejor red.....	106

3.3.12.8. Ventajas de las (RNA).....	106
3.3.12.9. Desventajas de las Redes Neuronales (RNA).....	108
3.3.12.10. Modelos de (RNA).....	108
3.3.12.11. Comentarios y observaciones.....	109
3.3.12.12. Teoría de la Regresión Múltiple (RM).....	109
3.3.12.13. Ventajas del uso de la (RM).....	109
3.3.12.14. Desventajas de (RM).....	110
3.3.12.15. Justificación del empleo de (RM).....	111
3.4. Diseño del Modelo.....	112
3.5. Obtención de una solución.....	113
3.6. Validación y prueba .....	113
3.6.1. Validación.....	114
3.6.2. Confrontación de la información observada y estimada.....	114
3.6.3. Prueba.....	114
3.7. Considerar las hipótesis para una solución válida.....	115
<b>4. Aplicación de la Metodología.....</b>	<b>116</b>
4.1. Adquisición de datos.....	117
4.1.1. Datos generados.....	118
4.2. Identificación de autopistas.....	118
4.2.1. Ejemplo de aplicación.....	118
4.2.2. Observaciones y comentarios al ejemplo del Anexo R.....	119
4.3. Identificación del tipo de terreno.....	119
4.3.1. Condiciones de la autopista México – Cuernavaca.....	120
4.4. Identificación de categorías vehiculares (Clase A).....	120
4.5. Identificación de variables.....	120
4.6. Preparación de datos.....	121
4.6.1. Tarifas de cuota .....	121
4.6.2. Ingresos.....	121
4.6.3. Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente.....	122
4.6.4. Costos de deterioro ( <i>CD</i> ) de la carpeta.....	124
4.6.4.1. ( <i>TDPAE</i> ) provocado por vehículos A.....	125
4.6.4.2. Expresiones resultantes.....	126
4.6.5. Cálculo de costos por congestión.....	128
4.6.5.1. Carriles en la autopista México – Cuernavaca.....	128
4.6.5.2. Tabla del Highway Capacity Manual.....	129
4.6.5.3. Vehículos incorporados a la autopista.....	130
4.6.5.4. Conclusiones particulares del análisis.....	131
4.6.5.5. Datos para obtener el (MTV) de clase vehicular A.....	131
4.7. Diseño del Modelo Tarifario Vehicular (MTV).....	132
4.7.1. Solución particular del Modelo Categoría A.....	132
4.7.2. Expresión del Modelo.....	133
4.8. Validación y Prueba del Modelo.....	134
4.8.1. Validación del Modelo.....	134
4.8.2. Prueba del Modelo.....	134
4.9. Aplicación en vehículos B.....	136

4.9.1. Aplicación de la Metodología.....	136
4.9.2. Identificación de las variables.....	137
4.9.3. Preparación de datos.....	137
4.9.3.1. Tarifa de Cuota de autobuses B.....	137
4.9.3.2. Ingresos.....	137
4.9.3.3. TDPA Equivalente.....	137
4.9.3.4. Costo de deterioro.....	138
4.9.3.5. Cálculo del daño unitario ponderado.....	138
4.9.3.6. Costos de deterioro ponderado de la autopista.....	138
4.9.4. Resumen de datos.....	139
4.9.5. Diseño del Modelo.....	140
4.9.6. Obtención de una solución del Modelo.....	140
4.9.7. Validación y Prueba del Modelo.....	140
4.9.7.1. Validación del Modelo.....	141
4.9.7.2. Prueba del Modelo.....	141
4.10. Aplicación en vehículos C.....	142
4.10.1. Aplicación de la metodología.....	142
4.10.2. Preparación de datos.....	142
4.10.2.1. Tarifa de cuota para camiones.....	142
4.10.2.2. Ingresos.....	143
4.10.2.3. Transito Diario Promedio Anual Equivalente.....	143
4.10.2.4. Costo de deterioro.....	143
4.10.2.5. Cálculo del daño unitario ponderado.....	143
4.10.2.6. Cálculo del costo de deterioro.....	143
4.10.3. Resumen de datos.....	144
4.10.4. Diseño del Modelo.....	145
4.10.5. Obtención de una solución del Modelo.....	145
4.10.6. Validación y Prueba.....	145
4.10.6.1. Validación.....	146
4.10.6.2. Prueba de modelo.....	146
4.10.6.3. Prueba de Durbin – Watson.....	146
4.10.6.4. Bondad de Ajuste F.....	147
4.11. Esquema final tres Modelos Tarifarios.....	147
4.11.1. Elementos de generalización.....	147
4.12. Análisis de transferencia de flujos vehiculares.....	148
4.12.1. Generalidades.....	148
4.12.2. Diseño de la tarifa de cuota.....	141
4.12.3. Elementos de Diseño.....	149
4.12.4. Costos por año.....	150
4.12.5. Cálculo de la tarifa de cuota.....	150
4.12.6. Tarifas reguladoras.....	151
4.12.7. Alivio de la carretera federal.....	151
<b>5. Análisis y discusión de resultados.....</b>	<b>152</b>
5.1. Análisis de la información.....	153
5.2. Criterios de comparación de resultados.....	153

5.2.1. Monto de la tarifa de cuota.....	153
5.3. Ventajas del Modelo Tarifario.....	154
5.4. Aportaciones centrales de este documento.....	155
<b>6. Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>159</b>
6.1. Extensiones que se prevén realizar en sucesivos trabajos.....	159
6.2. Línea de investigación futura.....	160
6.2.1. Sistema de peajes sombra.....	160
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>162</b>

## Lista de Anexos

- A. Flujo Vehicular Anual
- B. Tránsito Diario Promedio Anual
- C. Porcentajes del TDPA
- D. TDPA equivalente para tres tipos de terreno
- E. Ingresos percibidos por el gobierno
- F. Tarifas de cuota, Autopista México – Cuernavaca
- G. Costos de Deterioro, Autopista México – Cuernavaca
- H. Costos operativos
- I. Aforo, Autopista Cuernavaca – México
- J. Factor Ponderado de vehículos equivalentes
- K. Determinación del valor del tiempo de traslado sin congestión.
- L. Aplicación en México utilizando el Modelo de Vergara
- M. Ejemplos de Aplicación del Modelo de Bonifaz J.
- N. Ejemplos de aplicación del Modelo de Hun
- P. Ejemplos de aplicación del modelo de Rico A
- Q. Aplicación del modelo empleado en México
- R. Evaluación de la autopista México - Cuernavaca

## **Lista de Apéndices**

- A. Daño Unitario
- B. Vehículos Equivalentes
- C. Tablas de HCM (2000)
- D. Costos de Mantenimiento
- E. Índices de Precios al Consumidor e Inflación
- F. Tasa de Actualización
- G. Factores
- H. Volúmenes de Tránsito, Autopista México – Cuernavaca
- I. Porcentajes de categorías vehiculares que circulan en la Autopista

## Lista de Abreviaturas

<b>A</b>	Vehículo clase A
<b>ACs</b>	Autopistas de cuota
<b>B</b>	Vehículo clase B
<b>BANOBRAS</b>	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos
<b>B<sub>J</sub><sup>0</sup></b>	Beneficios económicos del inversionista
<b>C</b>	Vehículo clase C
<b>CAPUFE</b>	Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos
<b>CC</b>	Costos de congestión
<b>CE</b>	Cobro Electrónico
<b>CD</b>	Costos de deterioro
<b>C<sub>i</sub></b>	Costo incurrido por transitar en la de cuota
<b>CI</b>	Costo de inversión
<b>C<sub>j</sub></b>	Costo incurrido por transitar por la alterna
<b>C<sub>NIJ</sub></b>	Colección de peajes
<b>C<sub>VIJ</sub></b>	Peajes
<b>COVs</b>	Costos de Operación Vehicular
<b>CS</b>	Costos del Consumidor
<b>DETi</b>	Costo de deterioro promedio causado por los vehículos
<b>DU</b>	Daño Unitario
<b>DUP</b>	Daño Unitario Ponderado
<b>D-W</b>	Durbin – Watson
<b>EC</b>	Costos Ambientales
<b>ESAL</b>	Carga equivalente de un je estándar de 18, 000 libras
<b>E-VIEWS</b>	Paquete de cómputo
<b>FARAC</b>	Fideicomiso de Apoyo para el Rescate de Carreteras
<b>FE</b>	Factor de Equivalencia
<b>FK</b>	Fracción vehicular
<b>IMT</b>	Instituto Mexicano del Transporte
<b>IMSS</b>	Instituto Mexicano del Seguro Social
<b>I(Q<sup>0</sup>)</b>	Inversión realizada en el instante cero
<b>IRI</b>	Índice Internacional de Rugosidad
<b>IVA</b>	Impuesto al Valor Agregado
<b>J<sub>i</sub></b>	Jurisdicción i
<b>J<sub>j</sub></b>	Jurisdicción j
<b>KM.</b>	Kilómetro
<b>LN</b>	Logaritmo Natural
<b>LS</b>	Mínimos Cuadrados
<b>M<sub>J</sub> (Q<sub>J</sub>, Q<sup>0</sup>)</b>	Costos anuales de operación y mantenimiento
<b>MC<sup>0</sup><sub>m</sub></b>	Costo promedio de mantenimiento por ESAL
<b>N</b>	Número de años del proyecto
<b>No</b>	Número de ESALs
<b>PE</b>	Peaje
<b>PEs</b>	Peajes
<b>P<sub>o</sub></b>	Peaje inicial

<b><math>P_t</math></b>	Peaje por cobrar
<b>PEMEX</b>	Petróleos Mexicanos
<b>PIARC</b>	Asociación Mundial de Carreteras
<b>PPP</b>	Proyectos Público Privados
<b><math>Q^0</math></b>	Nivel de calidad de la infraestructura
<b>r</b>	Tasa de descuento
<b>RIJ</b>	Ingresos por peajes
<b>RM</b>	Recolección para mantenimiento
<b>SCE</b>	Suma de los Cuadrados de los Errores
<b>SCT</b>	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
<b>SHCP</b>	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
<b>SPG</b>	Sistema de Posicionamiento Global
<b>TA</b>	Tarifa automóvil, pick – up, vans
<b>TAB</b>	Tarifa autobús
<b>TC</b>	Tarifa de cuota
<b>TCs</b>	Tarifas de cuota
<b>TCC</b>	Tarifa camión C
<b>TDPA</b>	Tránsito Diario Promedio Anual
<b>TDPAE</b>	Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente
<b>TI</b>	Tarifa Promedio
<b>TIC</b>	Tipo de Cambio
<b>TK</b>	Tarifa Promedio
<b>T / M</b>	Toneladas Métricas
<b>TR</b>	Peajes Renta
<b>T3S2</b>	Camión articulado de cinco ejes
<b>T3S3</b>	Camión articulado de seis ejes
<b>T3S2R4</b>	Camión articulado de nueve ejes
<b>UE</b>	Unión Europea
<b>USD\$</b>	Dólares
<b>W</b>	Bienestar
<b><math>V_{ci}</math></b>	Flujo diario de vehículos que circulan por la alternativa i
<b><math>V_{CoD}</math></b>	Flujo diario con origen – destino
<b><math>X_t</math></b>	Variable que involucra el PIB
<b>YM</b>	Gestión de ingresos

## Lista de Símbolos

$\sigma$	Tarifa sombra
$e$	Constante = 2.718282.
$\beta_0$	Parámetros de las variables
$\tau$	Tarifa óptima de Carles Vergara
$\varepsilon$	Error estándar de la regresión
$\lambda$	Proporción de ESALs que circulan en un carril
$\Omega$	Viajes promedio
$\Phi$	Costos de la red
$B$	Multiplicador de la demanda
$A$	Coficiente relativo de la demanda
$P$	Coficiente de correlación

## Resumen

En este trabajo se obtuvo un Modelo Tarifario Vehicular (MTV) para clases vehiculares tipo A (vehículos ligeros). La obtención del (MTV) se ha construido mediante el uso de la Regresión Lineal Múltiple con el apoyo del Método de los Mínimos Cuadrados Ordinarios. La relevancia del Modelo consistió en la inclusión de variables económicas como: a) Tarifa; b) Ingresos; c) Tránsito Diario Promedio Anual equivalente; d) Costos de deterioro de la carpeta de rodamiento; y e) Costo de congestión vehicular. Es necesario mencionar que después de una amplia revisión bibliográfica se pudo concluir que estas tres últimas variables, no son usadas en algún modelo cuando se trata de obtener la tarifa de cuota.

Esta investigación proviene de la recopilación, revisión y análisis de contribuciones científicas que involucran estudios sobre modelos tarifarios para conformar el Estado del Arte. La metodología utilizada se basó en el análisis de las aportaciones realizadas por importantes expertos en el desarrollo de modelos cuantitativos para el cálculo de tarifas de cuotas en autopistas. Se recurrió a analizar cuatro modelos tarifarios: a) Modelo tarifario de Vergara C., (2000); b) Modelo tarifario de Bonifaz, J.; Urrunaga, R.; Wakeham J., (2001); c) Modelo tarifario de Hun, H.; Chun, K., (2000); y d) Modelo tarifario de Rico, A.; Mendoza, A.; Rivera, C., (1995). Por otra parte, los modelos mencionados, a diferencia de la presente investigación, se han desarrollado para condiciones planas, por lo que en esta investigación dichos modelos se adaptan a condiciones montañosas durante la etapa de estudio. Además, la selección de las variables del (MTV) gravitó fundamentalmente en revisar, analizar y clasificar la producción científica relacionada con el tema principal de esta investigación. De igual forma, el Modelo Tarifario Vehicular obtenido es apropiado para aplicarse en autopistas de cuota de alta rentabilidad y altas especificaciones, considerando que este tipo de autopistas, académicamente no han sido explotadas por ningún autor.

Los principales resultados de esta Tesis son los siguientes: 1) Obtención de un procedimiento para actualizar tarifas de cuota en autopistas de altas especificaciones; 2) Con la aplicación del procedimiento indicado en el inciso uno, se determinó un Modelo Tarifario para vehículos A, B y C. La utilización del (MTV) demostró su factibilidad, ya que la incorporación de tráfico de la alterna a la autopista incrementó los ingresos al reducirse la tarifa de cuota. También, en la generación del (MTV) se obtuvieron otros resultados: a) La cuota de mantenimiento que debiera aplicarse por el deterioro causado por los vehículos; y b) La determinación de tarifas para otras categorías vehiculares. Adicionalmente, la investigación recopila tablas y datos relacionados con: Tránsito Diario Promedio Anual de 1991 hasta 2005; tarifas de cuota desde 1991 hasta 2005; daño unitario que producen los vehículos, vehículos equivalentes, y porcentajes de categorías vehiculares que circulan en la autopista México – Cuernavaca. Estos datos expuestos en los apéndices facilitarán su búsqueda ya que se encuentra documentada en manuales, libros y revistas de investigación. Lo más importante del modelo obtenido es que permitirá a la administración asegurar mejores ingresos.

La información utilizada en la aplicación y obtención del (MTV) se consideró a partir de 1991 hasta 2005, debido a que la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), emprendió el manejo de cifras monetarias en pesos a partir de 1991, en vez de miles de pesos, facilitando de esta manera los movimientos económicos con la eliminación de los tres ceros. La autopista México – Cuernavaca considerada de altas especificaciones y económicamente rentable de acuerdo con la generación de sus ingresos netos, sirvió de referencia para validar esta contribución de Tesis.

## Abstract

In this work the design of a Tariff Model for type A vehicles (light vehicles) was obtained. Vehicle class types “A” (light vehicles). The outcome of the Model obtaining has been constructed by means of the use of the Multiple Linear Regression, support by the Ordinary Minimum Square Method. The relevance of such a Model consists of the inclusion of economic variables like: a) Tariff; b) Income; c) Equivalent Annual Average Daily Traffic; d) Pavement Deterioration cost and; and e) Traffic jams Cost. It is necessary to state that after a lengthy bibliographical revision, it was possible to conclude that the latter three variables are not used in a joint manner in any model when it comes to obtaining the quota tariff.

This research comes from the compilation, review and analysis of scientific contributions that involve studies on tariff models which conform the State-of-the-art. The used methodology was based on contributions by important experts at developing quantitative model for calculating highways quota tariffs. It was decided to analyze four tariff models: a) The Vergara C. Tariff Model (2000); b) The Bonifaz J., Model.; Urrunaga, R.; Wakeham J., (2001); c) The Hun, H. Tariff Model; Chun, K., (2000; and d) The Rico A.; Mendoza, A.; Rivera, C., (1995) were analyzed. On the other hand, the aforementioned models, the current investigation, have been developed for even conditions; this is why in this investigation these models were adapted to mountainous conditions during the study stage. In addition, the selection of the model variables was based on essentially on reviewing, analyzing and classifying the scientific production related to the main subject of this research. On the other hand, the obtained Tariff Model is suitable for its application to High Standard Toll Freeways, considering that this kind of freeways, have not academically studied by any author.

The main results of this Thesis are the following: 1) The obtaining of a procedure which updates quota tariffs of quota for High Standard Freeways; 2) With the application of the procedure shown in the last lines, a Tariff Model for type A, B and C vehicles was obtained. The use of the Tariff Model demonstrated its feasibility since the freeway traffic growth increased the income, whereas the quota tariff decreased. Also, in the making of the Tariff Model other results were obtained: a) the maintenance quota that had to be applied due to the deterioration caused by vehicles; and b) determination of tariffs for other vehicles. Additionally the research compiles charts and data concerning: 1991 to 2005 Daily transit Annual average, 1991 to 2005, quota tariffs, unitary damage that produced by the equivalent vehicles, number of vehicles, category percentages for cars that go on the on the Mexico – Cuernavaca Freeway. These data shown in the appendix will make their reference easier since it is documented in book hands, books and journals. But chiefly, the obtained Model will allow management to assure higher income.

The information used in the application and obtaining of the Tariff Model, was taken from 1991 to 2005 because the Communications and Transportation Ministry, undertook the handling of incomes from tariff quota in pesos so as of 1991, rather than the thousand of pesos, thus, facilitating economic movements with the elimination of three zeros in the new pesos. The Mexico – Cuernavaca Highway, considered to be of High Standards as well as economically profitable in compliance with the development of its net income, served as reference to validate this Thesis contribution.

# 1. Introducción

Las razones coyunturales que motivan el desarrollo del presente trabajo de investigación radican en que las tarifas de cuota (*TCs*) son un instrumento esencial para generar actividad económica y ésta se refiere, principalmente, a los ingresos ( $I_{ng}$ ). Además, a través de los peajes (*PEs*) suele establecerse otro tipo de dinámica, propia del sistema carretero. Es posible afirmar que las (*TCs*) pueden actuar como: a) Regulador del tráfico evitando, el congestionamiento de la infraestructura; b) Generador de costos de mantenimiento, operativos y administrativos; c) Factor de mecanismos financieros para acatar los compromisos de deuda; y d) Destinar los ingresos provenientes de la tarificación al desarrollo de obras de transporte público (vías de comunicación).

Las vías de comunicación son el medio físico de interconexión entre localidades y países, convirtiéndose en un tema de atención pública y privada. Entre las vías de comunicación se encuentran las autopistas de cuota (*ACs*) que, con el tiempo, han ocupado importantes extensiones de espacio físico y en su evolución reflejan niveles de calidad de vida de la población, desarrollo socioeconómico de las ciudades y condiciones medioambientales. De hecho, la importancia que tienen las (*TCs*) para los países ha permitido que los gobiernos diseñen políticas y estrategias e inviertan grandes sumas de dinero en la construcción, ampliación y mantenimiento de estas infraestructuras.

Tradicionalmente, la construcción y mantenimiento de carreteras y autopistas ha requerido del cobro de impuestos a combustibles y patentes vehiculares. En el caso de concesiones para construcción, mantenimiento, operación y explotación de (*ACs*), se recurre a la tarificación como la forma más estricta para recuperar la inversión. En este sentido, la fuente de ingresos que algunos países utilizaban hasta 1999 para enfrentar los costos que se derivaban de la construcción de una infraestructura vial se indica en la Tabla 1.1 (Belenky P., 2002). Aquí se puede observar, como los impuestos han contribuido, notablemente al desarrollo de proyectos viales así como, en menor escala, otro tipo de recursos, como es el caso de las patentes vehiculares y los peajes.

País	Impuesto (%)	Patente (%)	( <i>PEs</i> ) (%)
Alemania	75	25	--
Francia	74	12	14
Italia	82	7	11
Portugal	93	7	--
Reino Unido	71	29	--

Tabla 1.1. Ingresos para construcción de infraestructuras viales. Fuente: Belenky, (2002), "Principios para un financiamiento eficiente", Presentación preliminar del marco conceptual, Argentina.

La misma Tabla 1.1 ilustra que, en el caso de países como Portugal -que no compite fuertemente en el mercado de patentes como Alemania e Inglaterra-, deben diseñar e instrumentar esquemas para aumentar el número de contribuyentes, ampliando los recursos disponibles y, por ende, una mejor línea de gasto público destinada a las carreteras.

Al comparar los porcentajes (2a columna) que los países destinan a la dotación de proyectos de este tipo, se observa que Portugal lo hace con 22%, 19%, 18% y 11% más que Reino Unido, Alemania,

Francia e Italia, respectivamente. En el caso de (*PEs*), la misma tabla muestra que los gobiernos de Francia e Italia por ese tiempo no habían decidido su aplicación.

Otra fuente de información se presenta en la Tabla 1.2, en que se comparan las cifras relacionadas con el origen de ingresos de otros países para la construcción y mantenimiento de su infraestructura carretera. Las columna 2 y 4 indican que países como México, Costa Rica, Sudáfrica y Suiza, utilizan el impuesto a los combustibles y el cobro de (*PEs*) por transitar para allegarse recursos. Por otra parte, la contribución de los impuestos a patentes para la dotación de carreteras en Bolivia, Argentina, Costa Rica, Chile, Perú, México, Suiza, Sudáfrica y Noruega, no existe; en contraparte, Estados Unidos y Japón si utilizan las patentes para estos casos.

País	Impuesto al combustible	Patente vehicular (%)	( <i>PEs</i> ) (%)	Otros impuestos para cubiertas, remolques y uso del vehículo (%)
Bolivia	30	--	70	--
Argentina	10	--	90	--
Costa Rica	95	--	5	--
Chile	5	--	95	--
Perú	1	--	99	--
México	66	--	34	--
Suiza	97	--	--	3
Sudáfrica	50	--	50	--
Estados Unidos	27	21	10	42
Noruega	20	--	80	--
Japón	--	15	85	--

Tabla 1.2. Origen de ingresos destinados proyectos carreteros. Fuente: elaboración propia con información de Ley de Ingresos de la Federación, Ministerio de Transportes y Comunicaciones (informe 2005), Zietlow G.; Fondos de Conservación de América Latina (2001), Delgado R.; Inversiones en Infraestructura Vial (2000), Rojas C.; Concesión de Carreteras (2003), Alonso José; Descentralización de la Red de Autopistas (2000), Pérez Francisco. La financiación privada de infraestructuras: problemas y modalidades (2000).

## 1.1. Algunos escenarios de las autopistas

Es importante considerar que las (ACs) muestran escenarios muy particulares. Estos, motivados por factores socioeconómicos y demográficos donde se ubican dichos proyectos. Algunos escenarios a considerar son:

### 1.1.1 Financiamiento

El financiamiento de las autopistas puede ser público o privado. Ambos sistemas tienen características particulares que influyen en la decisión de los gobiernos para su aplicación. En el primer caso, supone obtener recursos de la aplicación de impuestos en otros sectores de la economía. En el segundo caso, se aplican (*PEs*) que se vinculan con la recuperación de la inversión y recaudación para pagos de deuda.

### **1.1.2. Comportamiento**

Las (ACs) contribuyen al desarrollo económico de los países participando en la integración de las regiones, en el desplazamiento de personas y en la distribución de productos. Dichas infraestructuras llegan progresivamente a su madurez y cobran mayor preponderancia en aspectos como la gestión, la conservación y la oferta de nuevos servicios y operaciones. Sin embargo, en este tipo de proyectos concurren otro tipo de variables como:

- a) La presencia de una diversidad significativa del parque vehicular. Es decir, la variedad del tránsito vehicular comprende autos y pick up -con y sin remolque-, camiones, motocicletas tractocamiones -con y sin remolques-.
- b) Variabilidad del monto en los peajes. Por ser heterogéneo el parque vehicular, la tarifa de cuota (*TC*) también es diversa.
- c) Costos de mantenimiento y administrativos
- d) Demanda del usuario.

Lo anterior permite entender, en consecuencia, que no existe una forma directa de predecir el desempeño de una autopista.

### **1.1.3. Tarifas de cuota (*TCs*)**

Las (*TCs*) son la forma clásica de recuperación de los ingresos. Bajo esta modalidad, los usuarios pagan un precio por viaje de acuerdo y de manera y proporcional a la distancia recorrida.

Realidades de la tarificación – financiación

1. Existe relación directa entre la financiación en infraestructuras y la tarificación de las mismas, debido a que los beneficios sociales dependen de la demanda del proyecto que, a su vez, depende del sistema de precios que se establezca por el mismo (Barrios C., 2001). A esto se agrega que, en la operación del proyecto, intervendrá una (*TC*) que se verá influenciada por otros factores.

2. Los sistemas de (*PEs*) suponen una serie de subsidios cruzados entre distintas clases vehiculares. En primer lugar, los vehículos pesados son los que más daño causan a las carreteras y, por lo tanto, son responsables mayores en los costos de recuperación; no obstante, su participación en el financiamiento de la infraestructura es menor en comparación con un vehículo ligero. Existe, por tanto, un subsidio cruzado entre vehículos que abre espacios a una demanda más elástica de vehículos pesados (Pereyra A., 2003).

## **1.2. Justificación**

Esta Tesis aborda un problema de contexto mundial. Propone un Modelo Tarifario Vehicular (MTV) para las organizaciones encargadas del diseño de (*TCs*) en autopistas. Igualmente contribuye a la satisfacción de una necesidad planteada por la administración central encargada de incrementar los ingresos provenientes de la tarificación sin afectar los intereses económicos de la sociedad.

Con este estudio se espera ofrecer un bloque de conocimientos que incidan en el mejoramiento del sistema tarifario. Para ello es conveniente conocer lo que acontece en el mundo en materia de (*PEs*).

### **1.2.1. Los peajes el plano mundial**

Es importante conocer las dificultades y complicaciones que ocurren en el sistema tarifario de (ACs) en otros países, cada uno de estos posee un sistema carretero diferente determinado por sus propias condiciones políticas, comerciales, económicas y sociales.

### **1.2.2. Tarificación en Europa**

La mayoría de las carreteras europeas reciben subsidios; el gobierno aporta algún tipo de garantía financiera que cubre el nivel de riesgo del concesionario. Este último caso se da siempre que el gobierno tenga capacidad de influir en el nivel de peaje que se cobra a los usuarios.

En general, los operadores europeos fijan el nivel de (*PEs*) que cobran a los usuarios en función de la distancia recorrida y del peso del vehículo. Portugal, Grecia, Hungría, Francia y España lo hacen igualmente tomando en cuenta el número de ejes del vehículo. En el caso de Noruega su administración fija el monto del (*PE*) con el objetivo de recuperar únicamente los costos de construcción.

En algunos países la cuota tarifaria se establece, principalmente, para recuperar los costos derivados de la construcción, explotación y mantenimiento de la infraestructura. Por ejemplo, en Portugal él (*PE*) se fija de forma extrema en función de la media de la red y se actualiza en función del índice de precios al consumidor. Así mismo se dan casos de (*PEs*) sombra, como en España; en este tipo de concesiones los usuarios no realizan ningún pago directo al operador, realizando la administración competente una transferencia que está en función del volumen de tráfico que soporta la vía. (Romero M., *et al.*, 2004). En la Tabla 1.3, se da un resumen del comportamiento de los peajes en Europa.

País	Propiedad	Estructura del (PE)	Base del (PE)
Austria	Pública / privada	Distancia, duración de viaje, peso del vehículo	--
Croacia	Pública / privada	--	--
Dinamarca	Pública / compartida con Suecia	Distancia y peso vehicular	--
España	Privada	Distancia, peso del vehículo, número de ejes, (PE) electrónico	Costos de construcción, explotación y mantenimiento
Francia	Pública / privada	Número de ejes, peso del vehículo, contaminación, punta y/o valle de circulación, (PE) electrónico	Costos de construcción, explotación y mantenimiento
Grecia	Pública / privada	Distancia, número de ejes, (PE) electrónico	Costos de explotación y mantenimiento.
Hungría	Pública / privada	Distancia, número de ejes, (PE) electrónico	Costos de explotación y mantenimiento.
Italia	Pública / privada	(PE) electrónico	Costos de construcción, explotación y mantenimiento
Noruega	Pública / privada	Fijada por el gobierno	Costos de construcción
Portugal	Pública / privada	Distancia, número de ejes, (PE) electrónico y peaje sombra	(PE) medio actualizado por (IPC)
Bélgica	Pública	--	--
Finlandia	Pública	--	--

Tabla 1.3. Comportamiento de los peajes en la Unión Europea. Elaboración propia con información de “Carreteras de peaje en Europa”. Romero M. (2004), España.

También se observa en la Tabla 1.3 la siguiente información:

- 1) La mayoría de los países europeos utilizan recursos públicos y privados que asignan a sus proyectos carreteros (esquemas mixtos de financiamiento). En cambio Bélgica, España y Finlandia financian sus carreteras con el esquema de recursos públicos.
- 2) Entre las variables consideradas –que también son diversas– para estructurar el (PE) de cobro, sobresalen la distancia recorrida, el número de ejes del vehículo (aplicadas por Francia, Austria) y el peso del mismo (aplicado por Francia, Austria, Portugal, Hungría, Grecia y España).
- 3) Recurriendo al caso de Francia se observa que, en la estructuración del (PE), se incorporan variables como peso y carga del vehículo, horas pico y valle de circulación.

### **1.2.3. Clasificación de grupos de países**

De acuerdo con Vasallo J., (2009). El Libro Blanco del Transporte publicado por la Comisión Europea clasifica tres grupos de países que han aplicado una política de tarificación de infraestructuras para proporcionar a los europeos unos sistemas de transportes más eficientes y eficaces.

Primer grupo. Constituido por: Italia, España, Francia y Portugal. Países que históricamente usan los peajes como el medio más adecuado para el desarrollo de autopistas para no gravar los presupuestos públicos.

Segundo grupo. Formado por: Bélgica, Dinamarca, Suecia y Luxemburgo. Estos países introdujeron el concepto de “derecho de uso” de una infraestructura conocido como euroviñeta que es una tasa fija aplicada al tráfico pesado.

Tercer grupo. Integrado por: Alemania, Suiza y Austria. Este grupo ha introducido en los últimos años la “tarificación modulable” que, consiste en un peaje para vehículos pesados calculado en función a la distancia recorrida.

#### **1.2.3.1. Alemania**

Antes de 1999 (Libro Blanco 1999), en Alemania no se había establecido el pago de (*PEs*) muy pesar de los elevados costos de mantenimiento de las autopistas. La práctica de aplicación de pago por transitar, no estaba contemplada en la legislación vigente. Más aún, el gobierno alemán intentaba en ese tiempo convencer a sus socios comunitarios de no imponer obstáculos al tráfico rodado en forma de barreras que incrementaban los costos.

La opinión del gobierno alemán en contra de la instauración de (*PEs*) se basaba en las siguientes consideraciones:

- Contribuían a desequilibrar las condiciones de mercado en el transporte internacional.
- Hacía más difícil atravesar las fronteras aumentando el número de controles.
- Incrementaba la posibilidad de accidentes ya que los conductores tenían incentivos a no utilizar las autopistas sino otras menos seguras.

A partir de 2005, Alemania instauró un sistema de tarificación de autopistas con tasas kilométricas (varían según el peso y emisión del vehículo). La tasa varía entre 9 y 14 céntimos de euro/km, dependiendo de la hora del día (punta o valle).

#### **1.2.3.2. Reino Unido**

La política del gobierno británico consiste en aplicar (*PEs*) a puentes y túneles y se ajusta, exclusivamente, a recuperar los costos de construcción y financiamiento de dicha infraestructura carretera.

Por ejemplo, la empresa concesionaria del Puente Dartford controla y atiende 120,000 vehículos al día, partiendo de sus previsiones del tráfico vehicular. Esta previsión del flujo vehicular (tránsito cautivo), reduce los riesgos involucrados en su financiamiento y se garantiza la recuperación de la inversión por el cobro de transitar. Así, el valor de la (*TC*) aplicada para cruzar dicho puente es de 0.48 dólares (Fisher G., 2004).

### 1.2.3.2.1. Euro túnel

Este proyecto actualmente es operado y concesionado por la Compañía Euro túnel, cobrando el acceso a cada línea ferroviaria bajo la concesión de los gobiernos británico y francés hasta el año 2052. La condición para construir este proyecto fue que los costos estuvieran desligados de la hacienda pública de Inglaterra.

### 1.2.3.3. Korea

En este país asiático (Hun H, *et al.*, 2000) existe escasa transparencia en la administración de los (*PEs*) y, por ello, surgen inconvenientes en la tarificación entre cuyas causas se pueden identificar: a) La complejidad en el procedimiento para la determinación del precio a pagar por transitar; b) Aplicación de diferentes fórmulas entre vehículos de diferentes categorías en la distancia manejada; c) Descuento permitido para distancias largas; y d) Descuentos permitidos o premios cargados por el uso de otros carriles.

Por otro lado, el procedimiento para el ajuste de pago por transitar no es claro, depende de decisiones parciales de la Korean Highway Corporation (KHC) o del gobierno. El ajuste de (*PEs*) se efectúa a la vista del consumidor para mejorar la productividad. Sin embargo, para algunos usuarios la existencia de carreteras exentas del pago, genera nuevas controversias.

Cada año fiscal la KHC ajusta los (*PEs*) considerando: a) Renta y gasto; b) El efecto de las carreteras sobre los precios al consumidor; y c) La economía nacional. Por tanto, existe ambigüedad en la determinación de las (*TCs*). Tampoco se tiene una base real que sustente la aplicabilidad de tasas por categoría de vehículos. Adicionalmente, esta organización propone un modelo tarifario en función de una (*TC*) mínima relacionada con una distancia base de 20 km., circunstancia que genera discusiones entre los usuarios, que tienen que pagar por un recorrido menor.

La KHC diseña los (*PEs*) de acuerdo con las siguientes relaciones:

- 1) Peajes calculados por la Closed Operation System Highway = (*PE*) mínimo (1,100 won) + (distancia recorrida)\*(tasa/km.).
- 2) Peajes calculados por la Open Operation System Highway = (kilometraje promedio aplicable a peajes locales)\* (*TC*) base.

Por otra parte, la distancia recorrida se calcula sustrayendo del actual kilometraje:

- 1) 20 km por vehículo de las categorías 1, 2 y 3
- 2) 10 km por vehículo de las categorías 4 y 5.

La tasa/km se determina considerando todos los factores de un año fiscal, incluyendo el total de costos, estabilidad de tarifas, similitud de impuestos entre periodos y, en general, factores económicos que prevalecen en la región.

Para la aplicación de (*PEs*) se disponen de cinco categorías vehiculares que se muestran en la Tabla 1.4, cada una de las cuales clasifica diversas unidades. Por ejemplo, en el primer renglón para la categoría 1 se tienen tres tipos de vehículos (sedanes, autobuses de 16 pasajeros y camiones de carga de 2.5 toneladas métricas). Estos vehículos efectúan un pago de 34.80 won/kilómetro recorrido.

Categoría vehicular	Vehículo	Tasa/km (wons)
1	. Sedanes . Autobuses para 16 pasajeros . camiones de carga de 2.5 t/m	34.80
2	. Autobuses de 17 a 32 pasajeros . Camiones de carga de 5.5 t /m	36.60
3	. Autobuses de más de 33 pasajeros . camiones de 5.5 – 10 t/m	37.60
4	. Camiones de carga de 10 – 20 t /m	64.80
5	. Camiones de carga de 20 t / m ó más	

Tabla 1.4. Tasa / km. aplicada por el gobierno de Korea. Fuente: elaboración propia con información proveniente de An Application of Two – Part Tariff Pricing to Expressway. A case of Korea. (Hun H. 2000). Korea.

#### 1.2.3.4. Perú

Bonifaz J, (*et al.*, 2001) han investigado el sistema de transporte, y particularmente, el esquema de concesión de autopistas asignado al financiamiento privado en Perú. En esto caso, los estudios definieron falta de inversión pública para ampliar la red carretera peruana. Así mismo, el análisis manifestó requerimientos de una infraestructura carretera para el país, que derivó en la elaboración de un Programa de Concesiones de Redes Viales con las características que se presentan a continuación.

La (*TC*) básica es aquella que se cobra por vehículo y/o por eje de vehículo pesado, cuyo monto es estimado por el Sistema Nacional de Mantenimiento de Carreteras (SINMAC). Este valor permite enfrentar los costos que incluyen los gastos de mantenimiento periódico, rutinario, control de pesos y rehabilitaciones al final del periodo de vida útil de la infraestructura. El monto resultante de la estimación fue de USD\$ 1.60 por cada 100 km. La (*TC*) corresponde a un nivel mínimo necesario para la conservación de las vías rehabilitadas.

Sin embargo, según cálculos del Sistema de Concesiones Viales del gobierno de Perú, la (*TC*) promedio propuesta debiera ser USD\$ 2.00 por cada 100 km con la idea de que el concesionario iniciara cobrando una (*TC*) básica, que se elevaría a USD\$ 2.22 después de que los contratistas cumplieran con los compromisos iniciales del proyecto. De esta forma, los usuarios de las vías y las poblaciones aledañas percibirían claramente los beneficios de las obras, lo que permitiría pagar un poco más por el uso de la infraestructura. Este incremento en los (*PEs*) cumpliría con el propósito de otorgar fondos a los contratistas del sector privado para realizar inversiones adicionales de manera que la calidad del servicio fuera adecuado.

Otro punto importante era percibir si la (*TC*) básica del sistema debía ser uniforme o si podría variar de proyecto a proyecto. El Sistema de Concesiones Viales consideró un valor uniforme que se determinó a través de una combinación de plazo o aporte al fondo vial (cofinanciamiento) en cada proyecto. El aporte al fondo vial es un porcentaje de la reducción de los (*PEs*) y provendría de los inversionistas con el objetivo de utilizarlo en caminos de baja rentabilidad privada y alta rentabilidad social. El cofinanciamiento es un porcentaje de inversión que podría ser cubierto por el estado en aquellos tramos no muy rentables.

Por último, las estimaciones indicaban que con un (*PE*) de USD\$ 2.22 por cada 100 km, ningún proyecto requeriría cofinanciamiento y se lograría un aporte al fondo vial equivalente a 7.1 % de la recaudación. Pero con un valor de USD\$ 1.50 se requerirían US\$ 150 millones para el cofinanciamiento. La (*TC*) de equilibrio recomendada generaría sólo USD\$ 8 millones de cofinanciamiento (1.9 % de la inversión inicial) y un fondo equivalente a 1.3 % de la recaudación anual de peajes.

### **1.2.3.5. Brasil**

El Órgano de Control de Concesiones Viales de Brasil (2004) proporciona un análisis comparativo de las autopistas concesionadas en ese país y contempla, que la administración central determina las (*TCs*), fundamentalmente, en función del tipo de vehículo y del número de ejes. Así mismo en el establecimiento de las tarifas en autopistas de cuota brasileñas se consideran otros aspectos:

1. Resultan de estudios en los que se estiman las inversiones a realizar.
2. Se respalda el cobro de un precio progresivo en forma proporcional al cumplimiento del concesionario (por obras efectivamente cumplidas).
3. El gobierno al fijar las tarifas, pretende evitar subsidios cruzados entre las diferentes categorías de vehículos.

Un resultado interesante –y que es preciso destacar– se refiere a que, en Brasil, los municipios situados a lo largo de las carreteras concesionadas reciben 5% de la recaudación de (*PEs*), porcentaje promedio obtenido de la totalidad de las casetas de peaje cuyas (*TCs*) se establecen en función de la localización de dichos puntos de cobro.

De manera general, los concesionarios pagan una tasa de fiscalización que puede ser un valor fijo o un porcentaje de la recaudación por (*PEs*) y contribuir, así, al financiamiento del resto de la infraestructura carretera.

### **1.2.3.6. Argentina**

El caso de Argentina no está exento de inconvenientes tarifarios en su Programa de Concesiones Viales (Delgado R., 2000), identifica los siguientes aspectos:

1. El sistema abierto de (*TCs*) funcionó hasta 1991. En ese año el nivel de (*PEs*) fue determinado con base en una tarifa inicial uniforme para todos los usuarios, que se actualizaba en función de un índice de precios promedio resultado de precios al mayoreo, al menudeo y por el tipo de cambio.
2. El programa de concesiones, ha establecido un sistema de (*TCs*) diferenciales por tipo de vehículo, atendiendo el peso y altura.
3. La recuperación de las inversiones en obras se ha logrado mediante las (*TCs*), plazos fijos de concesión, contratos de riesgos privados, existencia de garantías estatales de ingresos o tránsitos mínimos asegurados, así como, por la presencia de subsidios especiales, en casos aislados, de carácter mensual o aportes directos a la construcción de obras.

4. En 1995 se dio la segunda renegociación de contratos en la que los mecanismos para la fijación de tarifas se actualizaban utilizando puntos de referencia como los precios al consumidor en Estados Unidos. Así mismo, se extendieron los plazos de duración de la concesión por trece años.

5. Para el caso particular de los accesos a la ciudad de Buenos Aires, el gobierno fija una (*TC*) máxima en dólares convirtiéndola, mensualmente, en pesos argentinos. Se fija, además, una tarifa (*TC*) diferenciada atendiendo el peso de los vehículos.

Tres rutas principales de Argentina se presentan en la Tabla 1.5; en ella se incluyen los valores del (*PE*) al tipo de cambio de 0.3369 dólares por un peso argentino para el 5 de octubre de 2004.

Para un análisis particular del corredor 1, RN 3, cuya longitud es de 615.52 km. con un cobro de peaje (*PE*) de 0.015 dólares / Km., se obtiene:

$$(PE)_{total} = 615.52 * 0.015 = 0.233 \text{ dólares}$$

Para estos corredores la longitud promedio recorrida es de 426.56 km y un cobro de peaje (*PE*) promedio de 0.0086 dólares / km, lo que resulta benéfico para el usuario de estas redes.

Rutas nacionales	Longitud (km)	( <i>PE</i> ) (Dólares / km)	( <i>PE</i> ) total (dólares)
Corredor 1, RN 205	259.84	0.0126	3.27
Corredor 1, RN 226	404.32	0.0116	4.69
Corredor 1, RN 3	615.52	0.0015	0.92

Tabla 1.5. Rutas, longitudes y peajes aplicados en Argentina. Fuente: elaboración propia con información personal y del Órgano de Control y Concesiones Viales (OCCOVI), Argentina (2003).

Por otro lado, la Tabla 1.5 hace mención del corredor o autopista RN 3, que une la ciudad de Buenos Aires con Tierra de Fuego, y los RN 205 y 226 unen la parte Norte – Centro y Noreste - Sureste de Buenos Aires, respectivamente.

### 1.2.3.7. Estados Unidos

La situación de los proyectos carreteros en Estados Unidos es complicada por su diversidad de modelos de financiamiento de autopistas. Los 250 proyectos existentes (Pérez F., 2000), se han diseñado con base en patrones de financiamiento muy heterogéneos, generados por diferentes autoridades locales o estatales, y teniendo en cuenta sus necesidades particulares.

Actualmente hay 30 estados en los que se aplica el concepto de peaje (*PE*) entre los que se incluyen Texas, Colorado, Washington, California, Lousiana, Maryland, North Carolina, Alaska y Florida. La ayuda del gobierno federal ha disminuido y los fondos de financiamiento estatal y local no son suficientes con respecto a los gastos de transporte para el mantenimiento y las mejoras de las nuevas carreteras.

Barreiro B., (2006) realiza un análisis de algunas autopistas que han sido financiadas y utilizan el (*PE*) para recuperar los costos de construcción: a) Mountain View Corridor en Utah; b) US – 6 y 1-

180, en el corredor meridional del sur en el condado de Washington; c) SR – 201 y 1 – 15 en el condado de Davis. El nivel de (*PEs*) se determina de acuerdo con los siguientes indicadores:

- Recaudación de (*PE*) electrónico
- Identificación de las (*TCs*)
- Tipo de tráfico
- Costo de construcción
- Tipo de financiamiento
- Costos de mantenimiento y operación
- El costo promedio del (*PE*) en toda la nación por utilizar una carretera de peaje es de 10 a 20 centavos de dólar por milla.

#### **1.2.3.7.1. El caso de Florida – Miami**

Actualmente en el condado de Miami – Dade, dos de cada tres conductores en las carreteras con (*PE*) pagan la (*TC*) establecida a través de un dispositivo conocido como *sun pass* ahorrándose 0.25 de dólar por viaje.

Algunos criterios para la aplicación de tarifas de cuota se proporcionan a continuación:

1. Son la fuente primaria de ingresos que se utilizan en Miami para el mantenimiento, ampliación y mejora de las carreteras.
2. Su aplicación en Miami se logra para administrar la congestión del tráfico en carreteras de capacidad limitada.
3. Los peajes captados permanecen en Miami para mejoras físicas, ampliaciones, rampas de frenado, mantenimiento y nuevos carriles.
4. La administración de las vías incluye los (*PEs*) en las carreteras, carriles para vehículos de uso colectivo (high occupancy vehicle –HOV–), carriles de uso colectivo (HOT) y carriles reversibles.

#### **1.2.3.8. Japón**

Pérez F., (2000) analiza las complejidades del financiamiento de las autopistas en Japón, y deduce que este tipo de esquemas se ha realizado, básicamente, a través del endeudamiento del tesoro y de bonos privados. El compromiso financiero consiste en bonos garantizados por el gobierno en nombre de varios fondos públicos y organizaciones bancarias. Los bonos privados son emitidos directamente por las empresas de (*PEs*) y, en general, son adquiridos por bancos locales.

A continuación se expresan, de manera resumida, los principios de financiamiento que son el resultado de un compromiso adquirido entre el gobierno y los inversionistas.

1. Los (*PEs*) cubren los costos de construcción, financiamiento, mantenimiento y administración de la autopista.
2. Los (*PEs*) deben ser equiparables y ajustados de acuerdo con la capacidad de pago de los usuarios y con otras tarifas cobradas por otros medios de transporte alternativos.

3. Los montos de (*PEs*) no deben exceder la suma de los beneficios por el uso de la autopista.

#### **1.2.3.9. Ecuador**

La Corporación Andina de Fomento en el Sector Transporte, en su “Estudio de alternativas y experiencias en materia de proyectos de participación público – privada para América del Sur”, sector transporte, si bien no precisa objetivamente los problemas y consecuencias de la aplicación de (*PEs*) en Ecuador, se pueden establecer las siguientes características de su sistema tarifario

1. Los concesionarios tienen el derecho de cobrar una (*TC*) y percibir ingresos para obtener una rentabilidad atractiva por las operaciones de inversión.
2. La recuperación de la inversión se realiza a través de los (*PEs*) pagados por los usuarios.
3. La localización y número de los (*PEs*) se decide tras una evaluación de la disposición de pago de los usuarios y un origen – destino del flujo vehicular.
4. El costo del (*PE*) se establece a partir de un esquema de ingresos requeridos para compensar, adecuadamente, las inversiones realizadas por el concesionario y cubrir todos los costos que las vías concesionadas requieren a largo plazo.
5. Se define una (*TC*) homogénea para tramos equivalentes de 100 km en los que se establece un nivel de servicio estándar.

#### **1.2.4. Peajes comparativos en algunos países**

A continuación se proporcionan las Tablas 1.6 y 1.7 relacionadas con los países que aplican (*PEs*). Por ejemplo la Tabla 1.6, muestra diferencias en la aplicación de peajes. Obsérvese que las (*TCs*) más caras se aplican en México (1.12 pesos/km) y las más bajas corresponden a Argentina (0.07 pesos/km.), existe una diferencia muy notable entre ambos países (1.05 pesos/km), En el caso de Chile la (*TC*) es de \$0.46 pesos/km muy cerca de la (*TC*) promedio. La misma tabla muestra las diferencias existentes en el cobro de peajes en países tanto de Europa como de América Latina.

País	(TC) /km Autos (moneda local)	(TC) /km Autos (dólares)	(TC) / km Autos (euros)	(TC) / km Autos (pesos mexicanos)
México	0.12 pesos	0.0985	0.0807	1.12
Brasil	0.04287 reales	0.0154	0.0123	0.17
Argentina	0.0182 pesos	0.0051	0.0050	0.07
Chile	25.00 pesos	0.0415	0.0338	0.46
España	0.0690 euros	0.0948	0.0690	0.96
Francia	0.0728 euros	0.0894	0.0728	1.01
Portugal	0.0494 euros	0.0697	0.0494	0.68
Rusia	1.00 rublos	0.0342	0.0278	0.38

Tabla 1.6. Peajes promedio aplicados a vehículos A. Fuente: elaboración propia con información del Órgano de Control y Concesiones Viales (OCCOVI), Argentina (2003).

En la Tabla 1.7, se resalta que, en países como Argentina, México, Corea e Indonesia, la red carretera sometida a (*PE*) alcanza el mayor porcentaje de los principales caminos (94%, 100% y 100% respectivamente, mientras que China y Estados Unidos tienen el menor porcentaje de autopistas a las que se aplican peajes (0.40% y 0.11% respectivamente). La misma tabla muestra en la primera columna, la longitud carretera en km de cada país: sobresalen Francia, Japón, China y Estados Unidos, que disponen de una gran infraestructura, en tanto que Korea, Malasia, Tailandia y Colombia figuran como los países con menor porcentaje en este rubro.

País	Red carretera total (km)	Red carretera principal (km)	Red por (PE) (km)	(PE) /total (%)	(PE / principal (%)
Argentina	216, 000	10, 400	9, 800	4.54	94.00
Francia	966, 000	14, 866	6, 305	0.65	42.00
Hungría	158, 000	435	57	0.04	13.00
Indonesia	260, 000	530	530	0.20	100.00
Italia	314, 360	6, 444	5, 550	1.77	86.00
Japón	1'144, 360	15, 079	9, 219	0.81	61.00
Korea	77, 000	1, 880	1, 880	2.44	100.00
Malasia	94, 000	1, 702	1, 127	1.20	66.00
México	355, 927	7, 409	7, 409	2.08	100.00
Sudáfrica	525, 000	1, 440	825	0.16	57.00
España	343, 200	7, 194	2, 255	0.66	31.00
Tailandia	64, 600	N / A	300	0.64	N / A
Filipinas	160, 000	N / A	140	0.09	N / A
China	1'180, 000	N / A	4, 735	0.40	N / A
Colombia	107, 000	N / A	1, 330	1.24	N / A
Hong Kong	1, 760	N / A	68	3.85	N / A
Reino Unido	372, 000	N / A	8	0.00	N / A
Estados Unidos	6'420, 000	N / A	7, 363	0.11	N / A

Tabla 1.7. Porcentajes de redes principales sujetas al pago de peaje. Fuente: Belenky (2002), "Principios para un financiamiento eficiente", Presentación preliminar del marco conceptual, Argentina. González J. (2007), Las concesiones de las autopistas mexicanas, examen de su vertiente legislativa. México.

### 1.2.5. Gestión de ingresos en autopistas

El Yield Management (YM) es una técnica utilizada por empresas para gestionar ingresos y de acuerdo con Bitran G., *et al.*, (2002), (YM) consiste en "vender el producto correcto, al cliente correcto, en el momento correcto". (YM) es aplicable a las condiciones en un mercado de horizonte de ventas corto y/o demanda sensible al precio. Por otro lado, Chávez M., *et al.*, (2005) dice que (YM) es una estrategia mixta que permite una gestión conjunta de la capacidad y de la demanda en organizaciones de servicios.

Para Smith *et al.*, (1992), (YM), consiste en la asignación a la unidad correcta de capacidad (asiento de un avión), del precio correcto y del cliente correcto; de la forma que se consiga el máximo beneficio posible. Para alcanzar los objetivos de (YM) se requiere de un análisis complejo ya que, intervienen una gran cantidad de variables de manera simultánea. Este tipo de análisis se realiza mediante programas informáticos que emplean modelos matemáticos y estadísticos muy poderosos.

La Tabla 1.8 indica los sectores de aplicación del (YM). Dichos sectores que normalmente cumplen los requisitos expuestos son los que aparecen en el cuadro superior derecho (hoteles, transporte aéreo), al presentar un servicio con una duración fija y un precio variable. Los sectores situados en cuadrante superior izquierdo (cines, estadios, auditorios) presentan un precio fijo para un servicio de duración prefijada. Los sectores del cuadrante inferior izquierdo (restaurantes, museos) tienen unos precios fijos para una duración aleatoria. El cuadrante que resta (hospitales) presenta precios diferentes y se desconoce la estancia del cliente.

La aplicación de (YM) se centra principalmente en las empresas caracterizadas en el cuadrante superior derecho ya que, presentan una duración prefijada lo que, intenta maximizar los ingresos obtenidos con base en la determinación del precio de los servicios.

	Precio	
Duración Predeterminada	Fijo	Variables
	Salas de cine, estadios, auditorios	Hoteles, aviones, alquiler de coches
Duración Determinada	Parques de atracciones	Hospitales

Tabla 1.8. Sectores de aplicación del (YM). Fuente: Withiam (2001)

### 1.2.5.1. Componentes de la técnica del (YM)

La Figura 1.1 muestra las tres componentes principales del (YM), estos son módulos relacionados que permiten definir y resolver el problema de cuánto y, a qué precio se debe vender el segmento del mercado. A continuación se describen cada una de estas componentes:

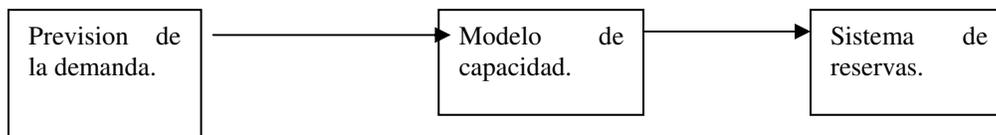


Figura 1.1. Componentes del (YM). Fuente: Guadix J., et al., (2008).

**Previsión de la demanda.** Se presenta cuando un histórico de datos que reflejan la tasa de ocupación pasada, se puede prever los clientes futuros a corto plazo.

**Modelos de capacidad.** Tratan de distribuir la cantidad prevista entre las distintas categorías bajo la capacidad diaria del establecimiento.

**El sistema de reservas.** Se refiere al modo de ventas de los servicios. En consecuencia, hay que definirle al encargado de ventas una metodología para determinar, ante la llegada de un cliente si se rechaza o acepta la petición.

### 1.2.5.2. (YM) en el sistema carretero

(YM) ya se aplica al sistema carretero por las empresas concesionarias de (ACs) mediante el recurso de aplicar (*PEs*) en forma anticipada o proponiendo descuentos y/o exenciones de pago como se hace en todas las autopistas argentinas de acuerdo con los criterios propuestos por El Centro de Estudios Sociales y de Opinión (2004). Dichos criterios son los siguientes:

1. Cuando en determinadas casetas de cobro liquiden el importe de su (*PE*) y regresen a esa misma caseta para recorrer el mismo trayecto en sentido inverso en plazos determinados.

2. Existirá también en algunos corredores viales, la posibilidad de descuentos adicionales si se transita más de veinte veces en un mes.

3. En otros corredores viales se paga el (*PE*) una sola ocasión, independientemente del número de veces que se haga uso de la autopista en veinticuatro horas.

De acuerdo con Robuste F., *et al.*, (2009), en la Unión Europea la mayoría de los modelos de tarifación prevén descuentos para los usuarios habituales de forma que, se permite la aplicación de una deducción parcial del importe del (*PE*) en el caso de viajeros recurrentes, usuarios con oferta inexistente de transporte público o para vehículos de alta ocupación. En este marco, algunos ejemplos concretos son la venta de diferentes fórmulas de abonos, como:

- Carnet de ticket (algunas ciudades de Noruega, el túnel del Mont Blanc y Croacia).
- Billete diario, semanal, mensual o anual (algunas ciudades de Noruega, Austria y Eslovenia).
- Descuento por comprar la ida y la vuelta juntas (el paso del San Bernardo, el túnel del Mont Blanc y el puente de Storebaelt).
- Descuentos por compra anticipada de los (*PEs*) (Italia y algunas ciudades noruegas).
- Descuentos por la utilización de sistemas de pago electrónico de los (*PEs*) en: Oslo, Eslovenia, Francia, Portugal, Reino Unido.
- Descuentos para residentes. Por ejemplo el (*PE*) aplicado por congestión en Londres.

Por su parte Sánchez R., (2003), en su estudio “El pago por uso de la infraestructura de transporte vial, ferroviaria y portuaria, concesionada al sector privado”, la red de autopistas de cuota en Chile muestra las siguientes diferencias de pagos de (*PE*):

1. Autopista Central. Utiliza una (*TC*) de \$26 chilenos por km (0.05 dólares). Sin embargo, se han establecido (*TCs*) diferenciadas de \$0.41 dólares/km en horas valle y de \$0.83 dólares /km en horas punta con el fin de reducir la congestión.

2. Autopista Costanera Norte. Aplica una (*TC*) de \$0.06 dólares/km y (*TCs*) diferenciadas de \$0.41 dólares/km en horas valle y de \$0.083 dólares/km en horas punta.

3. Autopista Vespucio Sur. Emplea un (*PE*) de \$0.052 dólares/km y sus (*TCs*) diferenciadas son: \$ 0.104 dólares/km para las horas valle y de \$0.125 dólares en las horas punta.

### **1.2.5.3. Políticas de aplicación de peajes**

Las (*TCs*) permiten generar recursos para fortalecer el transporte público por carretera, crear nueva infraestructura e implementar innovaciones que mejoren la movilidad de los usuarios. De acuerdo con Robuste F., *et al.*, (2003), el (*PE*) es un gestor de autopistas de altas prestaciones y se asocia al servicio recibido por el usuario. También, se relaciona con aquellas concesiones que se encuentran en sus inicios y que deben soportar enormes gastos derivados de la construcción y financiamiento inicial y que podrían recibir aportaciones de concesiones maduras que generan elevados beneficios.

#### **1.2.5.4. Recursos escasos**

En el sistema carretero los recursos económicos públicos son limitados. Esta razón hace que los operadores privados de carreteras, desarrollen tareas de explotación en tramos de (ACs) en régimen de concesión. Este sistema ha sido aceptado como recurso a falta de fondos públicos para fortalecer el desarrollo económico del país. Además, las inversiones para conservación de estas infraestructuras también son escasas y esto provoca la disminución de la calidad de las mismas y un aumento de accidentes (Robuste F., *et al.*, 2003). Por tales razones, se hace necesaria la aportación de capital privado en el financiamiento de autopistas. Es decir, las administraciones públicas por sí solas no pueden asumir los costos de nuevas vías de altas prestaciones. En este sentido, se recurre al (*PE*) para aquellos usuarios que desean utilizar (ACs).

#### **1.2.5.5. Autopistas afianzadas económicamente**

La mayoría de las autopistas europeas han sido claves en absorber un tráfico promedio de 8, 700 vehículos por día (Rodríguez P., 2010), lo que conlleva a emplear nuevas políticas de aplicación de (*TCs*) para que los gobiernos adquieran ingresos para cumplir con los costos de explotación, administración y mantenimiento de carreteras.

#### **1.2.5.6. La tecnología como gestión de recursos**

La aplicación de (*TCs*) electrónicas como táctica para gestionar ingresos está siendo empleada por los gobiernos y con ello disponer de recursos para disminuir los costos externos producidos cuando la demanda vehicular excede la capacidad de las carreteras. El Cobro Electrónico de Cuotas (CEC por sus siglas) en autopistas, se considera como una de las aplicaciones más útiles de los Sistemas Inteligentes del Transporte (Acha J., 2008). Su principal beneficio radica en permitir que la operación de cobro de cuotas por el uso de infraestructuras viales se realice sin necesidad de detener completamente el vehículo, siempre y cuando se lleve instalada una unidad a bordo que almacena los datos del viaje. Este método de pago permite al administrador de la carretera coleccionar automáticamente el valor del (*PE*) ya que, se le integra de manera inmediata a la cuenta bancaria asociada a la unidad a bordo del vehículo.

##### **1.2.5.6.1. La euroviñeta**

Este mecanismo es utilizado para obtener ingresos y se aplica en la Unión Europea. De acuerdo con la Asociación de Sociedades Españolas Concesionarias de Autopistas de Peaje, existen proyectos como: “Tarificación de infraestructuras de transporte en la UE, adecuación del sistema español en la red viaria” que, han analizado los efectos de la aplicación de la Euroviñeta en Alemania, la República Checa, Austria y Hungría. Es una medida beneficiosa para extender la cultura de pago por uso de una autopista, reduce los impuestos a los combustibles y lo más importante para las administraciones es una gran fuente de ingresos para enfrentar los costos externos.

De acuerdo con Vasallo J., (2009), el grupo de países de la Unión Europea, cuya política de tarificación se basa en “el derecho de uso” de la infraestructura más conocido por euroviñeta aplicado principalmente al tráfico pesado. Este esquema de pago por transitar consiste en una tasa aplicada por el uso de ciertas infraestructuras en aquellos países que no disponen de una infraestructura de (*PEs*). Suele ser una tasa que se paga mediante la compra de una tarjeta que debe llevar el usuario en el vehículo y que normalmente sirve para un periodo de un año, aunque ya se están usando tarjetas

mensuales o validas para determinado número de días. Los precios de estas viñetas los fijan libremente los distintos países de la UE para sus respectivas autopistas.

#### **1.2.5.6.2. GO – BOX**

La GO - BOX es una calcomanía utilizado en Austria por vehículos que superan el peso máximo de 3.5 Ton. Estos tienen que llevar la GO –BOX para que el lector de (*PE*) de la autopista mida automáticamente la longitud del trayecto y deduzca el importe directamente de una tarjeta de prepago (Pre – Pay) o de una tarjeta de crédito o de debito especial (Post – Pay). La GO – BOX se vende en numerosas aéreas de servicio en las autopistas de toda Austria con 45 días de crédito.

#### **1.2.5.6.3. TAG – IAVE**

IAVE es el Sistema de Identificación Automática Vehicular, el cual le permite al usuario transitar por las autopistas sin tener que detenerse para pagar en efectivo; ya que todos sus cruces los hará a través de un medio electrónico de pago, que le permitirá llevar un control de todos sus recorridos. Puede ser engomado o tarjeta dura. Básicamente consiste de un dispositivo llamado *tag* que es leído mediante tecnología llamada Interferencia de Radiofrecuencia (RFI) por una antena y permite o niega el acceso de forma automática y rápida pagando en efectivo. Cuando el *tag*, se aproxima al carril IAVE, emite una señal que es captada por la antena.

Para la adquisición del TAG – IAVE, se obtiene en instituciones financieras con el respectivo pago de derechos. La tarjeta es recargable las veces necesarias en montos variables desde \$200 hasta \$2000. La recarga puede ser a través de la Pagina Web o en ventanillas bancarias.

#### **1.2.5.7. Cobro de cuotas con SPG**

El Sistema de Posicionamiento Global (SPG), es otra forma de gestión de ingresos para las empresas alemanas. Este sistema de cobro de (*PEs*) es completamente funcional y sin restricciones. El cobro se realiza mediante unidades a bordo llamadas Sistemas Automáticas de Pago (OBU) y vía Internet si se desea pagar anticipadamente. El pago se hace en Euros si es en efectivo, con una tarjeta de crédito o mediante una compañía de venta de combustibles.

Las (OBU's) trabajan vía Sistema de Posicionamiento Global (GPS), y el odómetro o tacógrafo de la unidad se utiliza como respaldo para determinar la distancia que los camiones han viajado, teniendo como referencia un mapa digital y un sistema de comunicación (GSM) para autorizar el pago del (*PE*) vía una conexión inalámbrica.

#### **1.2.6. Observaciones y comentarios al (YM)**

La gestión de ingresos en carreteras está prácticamente en todos los países que cuentan con autopistas de cuota. Por otro lado, el cobro electrónico de (*TCs*) es un buen soporte para el (YM) y los gobiernos, han visto en el CEC como una mejor opción para cobrar las cuotas por transitar.

### **1.3. Contexto mexicano**

Las primeras (ACs) se construyeron como obra pública, con recursos fiscales y, para operarlas, el gobierno federal creó el organismo público descentralizado denominado “Camino y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos” (CAPUFE).

La red de autopistas construida a principios de 1980 bajo ese esquema, tenía una longitud de 1,000 km. y conectaba a la capital del país con ciudades como Cuernavaca, Querétaro y Puebla. Las (TCs) de esta red eran relativamente bajas, su objetivo era cubrir los gastos de operación conservación y no la amortización de la inversión, ya que ésta última se establecía a fondo perdido.

A mediados de la década de los ochenta el gobierno federal enfrentó una importante disyuntiva, pues existía un excesivo endeudamiento del Estado y los compromisos de pago de la deuda externa e interna impedían destinar recursos financieros para poder eliminar los rezagos acumulados en la infraestructura carretera. Los recursos fiscales que obtenía la federación se destinaban al pago de deuda y a otros programas prioritarios como la educación, alimentación y salud. A pesar de las enormes necesidades de invertir en infraestructura, el gobierno federal no contaba con los recursos necesarios para hacer frente a la creciente demanda.

El Programa Nacional de Autopistas Concesionadas (1980 a 1994), contemplaba la construcción de 4,000 km de autopistas de altas especificaciones, financiadas en gran parte a través de empresas constructoras y bancos privados, pero también con recursos del gobierno federal, estatal y la banca de desarrollo. Se inició dicho programa de construcción con el otorgamiento de tres concesiones y, a finales de 1994, se concesionaron otras 49. No obstante el éxito inicial que tuvo el programa al revitalizar los sectores de la industria de la construcción y el transporte con esas obras, el esquema concesionario manifestó algunos problemas desde su origen.

Las (TCs) al inicio de operación, ligadas a los flujos financieros de los proyectos, resultaron altas en términos de la capacidad de pago de los usuarios, no solo por el hecho de que los plazos de concesión eran muy cortos, sino también porque, comparativamente con las autopistas de CAPUFE, la recuperación de la inversión en infraestructura y el pago de los adeudos con la banca resultaban muy altos en comparación con las autopistas existentes.

Como consecuencia de ello, las proyecciones de demanda de los títulos de concesión se incumplieron en 23 de las 52 concesiones otorgadas. La crisis económica que el país vivió entre 1994 y 1995 agravó el problema.

#### **1.3.1. Rebaja en las tarifas de cuota**

Uno de los antecedentes más importantes de la rebaja tarifaria fue el programa de compactación de (TCs) que aceptaron los concesionarios a solicitud del gobierno, en diciembre de 1995, y sirvió como modelo para la compactación de tarifas aplicada por CAPUFE en su red a partir de enero de 1996.

A pesar del éxito de este programa de compactación de tarifas el gobierno, a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), requirió refinanciar algunas concesiones pero, finalmente, hubo la necesidad de elaborar un programa de rescate carretero, fundamentado principalmente en el interés público, pero orientado a evitar la quiebra de las empresas constructoras y el cierre de algunos bancos comprometidos con el programa. Dicho rescate se concretó en 1997.

Para ello se creó el Fideicomiso para el Rescate de Autopistas Concesionadas (FARAC) y se otorgó la concesión de todas las autopistas rescatadas al Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS). En esas condiciones, las *(TCs)* habían permanecido notablemente altas, en parte debido a las condiciones originales de los títulos de concesión y a la acelerada inflación que se había registrado entre 1989 y 1997. A pesar de ello, varios concesionarios, asesorados por el propio gobierno, realizaron algunos esfuerzos significativos para reducir las *(TCs)* o, al menos, trataron de no incrementarlas.

### **1.3.2. Las tarifas después del rescate carretero**

La acción del gobierno al rescatar las carreteras fue reducir significativamente las *(TCs)* de todos los vehículos y, específicamente, de los vehículos de carga. Se tenía la certeza, por estudios realizados con anterioridad, que la elasticidad de la demanda-precio permitía reducir las *(TCs)* incrementando los ingresos. Adicionalmente, se modificaron las estructuras tarifarias, pasando de una estructura basada en el “cobro por número de ejes” a una estructura basada en el “tipo de vehículos”. Con esta medida, se redujeron de diez a cuatro las categorías de cobro establecidas en el sistema, quedando únicamente las siguientes: automóviles (A); autobuses (B); camiones ligeros (C4); camiones medianos (C5-C6); y camiones pesados o articulados (C7-C9).

La Tabla 1.6 registra las rebajas tarifarias que se aplicaron entre agosto y septiembre de 1997. En las columnas 3, 4 y 5 se expresan las categorías vehiculares: A, corresponde a los vehículos ligeros; B a autobuses; y C a camiones ligeros.

**TARIFAS DEL PROGRAMA DE RESCATE CARRETERO DE SEPTIEMBRE DE 1997  
TARIFAS/KM A PRECIOS CORRIENTES (C/IVA)**

No. Aut.	AUTOPISTA	AGOSTO			SEPTIEMBRE			REBAJA (%)		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	Cadereyta – Reynosa	0.69	0.95	1.72	0.76	0.95	1.33	15.3	0.00	22.9
2	Chamapa – Lechería	1.02	1.68	3.94	0.73	1.28	1.90	-28.6	-23.9	-51.9
3	Champotón – Campeche	0.62	1.05	2.21	0.61	0.90	1.78	-4.2	-14.6	-19.6
4	Córdoba – Veracruz	0.98	1.58	2.87	0.87	1.12	1.62	-11.5	-29.0	-43.6
5	Cuernavaca – Acapulco	1.08	1.88	3.22	0.91	1.29	1.91	-15.8	-31.2	-40.7
6	Estación Son – Nogales	0.41	0.81	1.23	0.41	0.64	0.90	0.0	-20.6	-27.3
7	Gómez Palacio – Corralitos la Unión	0.57	0.76	1.47	0.54	0.65	0.97	-3.8	-14.3	-34.1
8	Guadalajara – Tepic	1.10	1.59	2.94	0.93	1.13	1.68	-14.0	-28.8	-36.2
9	Guadalajara – Zapotlanejo	0.81	1.12	2.72	0.73	0.85	1.74	-9.5	-24.1	-36.2
10	La Carbonera – Puerto México	0.82	1.58	3.33	0.82	1.58	3.33	0.00	0.00	0.00
11	La Tinaja – Cosoleacaque	0.91	1.35	2.56	0.66	0.94	1.49	-27.9	-30.0	-42.0
12	León – Lagos de M. – Aguas Calientes	0.84	1.29	2.53	0.69	0.95	1.54	-17.5	-26.7	-39.0
13	Libramiento Noreste de Querétaro	0.68	1.08	1.50	0.54	0.81	1.18	-20.0	-25.0	-21.0
14	Libramiento Nororiente de Saltillo	0.77	1.09	0.00	0.77	1.09	0.00	0.00	0.0	0.00
15	Libramiento Poniente de Tampico	1.50	2.22	4.01	1.07	1.43	2.14	-28.6	-35.5	-46.5
16	Maravatio – Zapotlanejo	0.72	1.30	2.76	0.57	0.90	1.43	-21.2	-30.7	-48.5
17	Mazatlán – Culiacán	0.77	1.28	2.52	0.61	0.96	1.43	-20.9	-24.6	-43.4
18	Monterrey – Nuevo Laredo	0.96	1.57	2.95	0.81	1.09	1.60	-15.3	-30.4	-45.6
19	Torreón – Saltillo	0.60	0.75	1.45	0.47	0.54	1.02	-20.9	-29.0	-29.6
20	Zapotlanejo – Lagos de Moreno	0.94	1.27	2.52	0.76	1.01	1.59	-18.9	-20.5	-35.7

**TARIFAS PROMEDIO/KM.**

<b>1. Autopistas concesionadas</b>	0.73	1.24	2.32	0.65	1.03	1.75	-11.0	-16.93	-24.57
<b>1.1. Autopistas rescatadas</b>	0.77	1.22	2.26	0.65	0.91	1.40	-15.58	-25.41	-38.05
<b>1.1. Autopistas no rescatadas</b>	0.66	1.28	2.43	0.66	1.27	2.41	0.0	-0.01	-0.01
<b>2. CAPUFE</b>	0.56	1.05	2.41	0.56	1.04	2.01	0.0	-0.01	-16.60

Tabla 1.8. Tarifas de cuota de autopistas rescatadas. Fuente: Rico S., “Determinación de tarifas óptimas para la red mexicana de autopistas de cuota”, PIARC, México, (2005).

En la Tabla 1.8 se observa que las rebajas en las autopistas concesionadas rescatadas fueron de 15% para automóviles, 25% para autobuses y 38% para camiones. La primera reducción de la (TC) resultó exitosa, en el periodo 1997-1999, los aforos de la red rescatada crecieron a una tasa promedio anual de 12%.

El ambiente generado por las rebajas tarifarias se muestra en las Figuras 1.1, 1.2 y 1.3, dichas graficas muestran la evolución de las (TCs) por kilómetro para cada uno de estos tipos de vehículo, respectivamente. A partir del rescate carretero y del último ajuste de pago por transitar, éste se mantuvo prácticamente constante, aunque con una ligera tendencia a la baja.

**AUTOMOVILES**  
**TARIFAS/KM PROMEDIO ANUALES POR TIPO DE RED**  
 (\$ constantes de Junio de 2004, sin IVA)

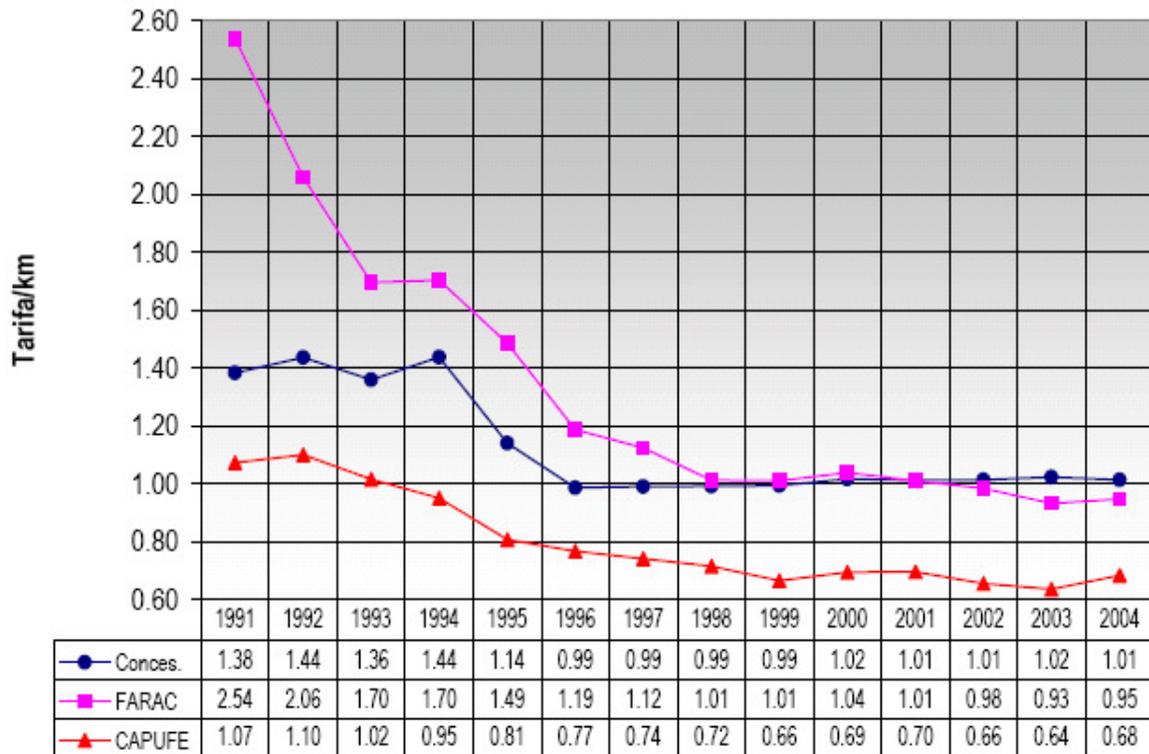


Figura 1.2. Evolución de las tarifas aplicadas a automóviles. Fuente: Rico S., “Determinación de tarifas óptimas para la red mexicana de autopistas de cuota”, PIARC, México, (2005).

# AUTOBUSES

## TARIFAS/KM PROMEDIO ANUALES POR TIPO DE RED

( \$ constantes de Junio de 2004 sin IVA)

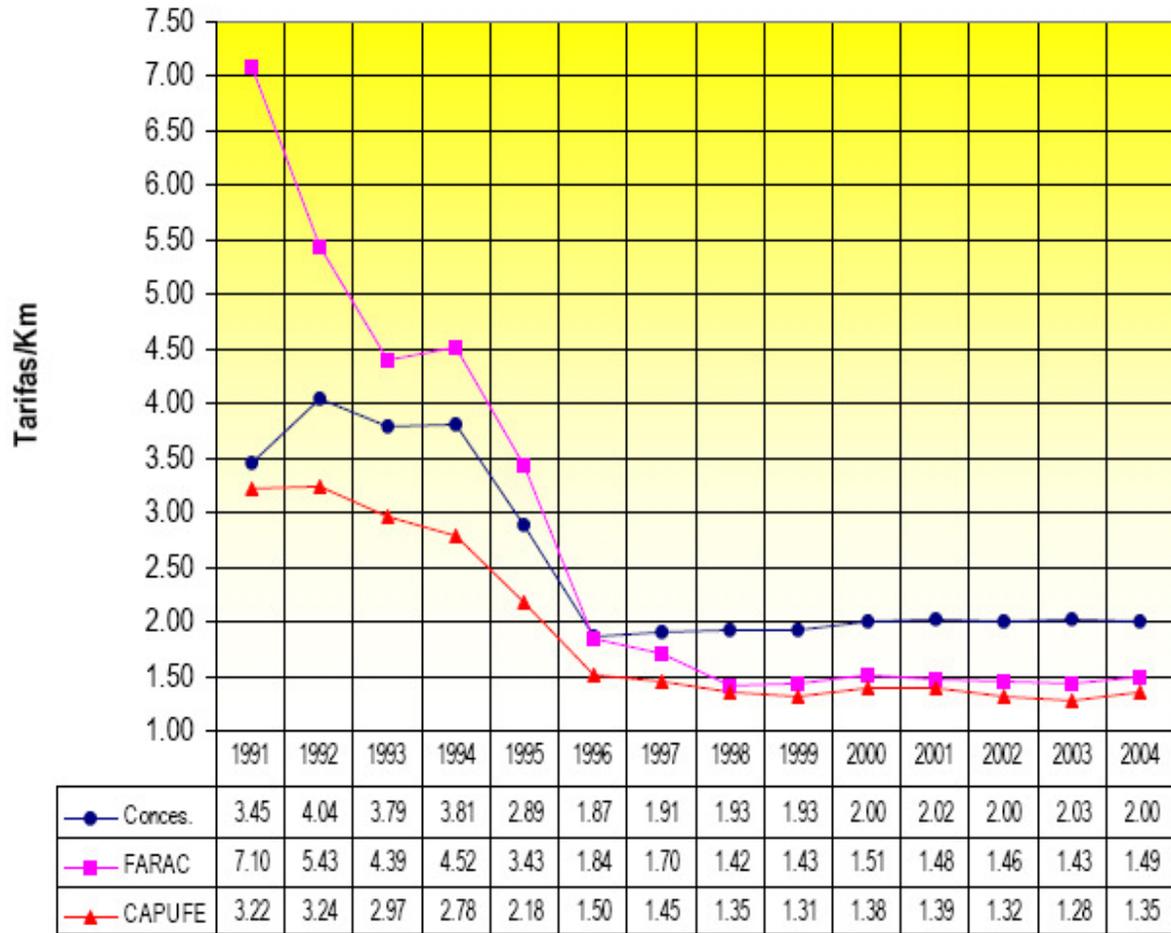


Figura 1.3. Tarifas de tarifas a autobuses a partir de 1991 hasta 2004. Fuente: Rico S., "Determinación de tarifas óptimas para la red mexicana de autopistas de cuota", PIARC, México, (2005).

## CAMIONES

### TARIFAS/KM PROMEDIO ANUALES POR TIPO DE RED

(\$ constantes de Junio de 2004 sin IVA)

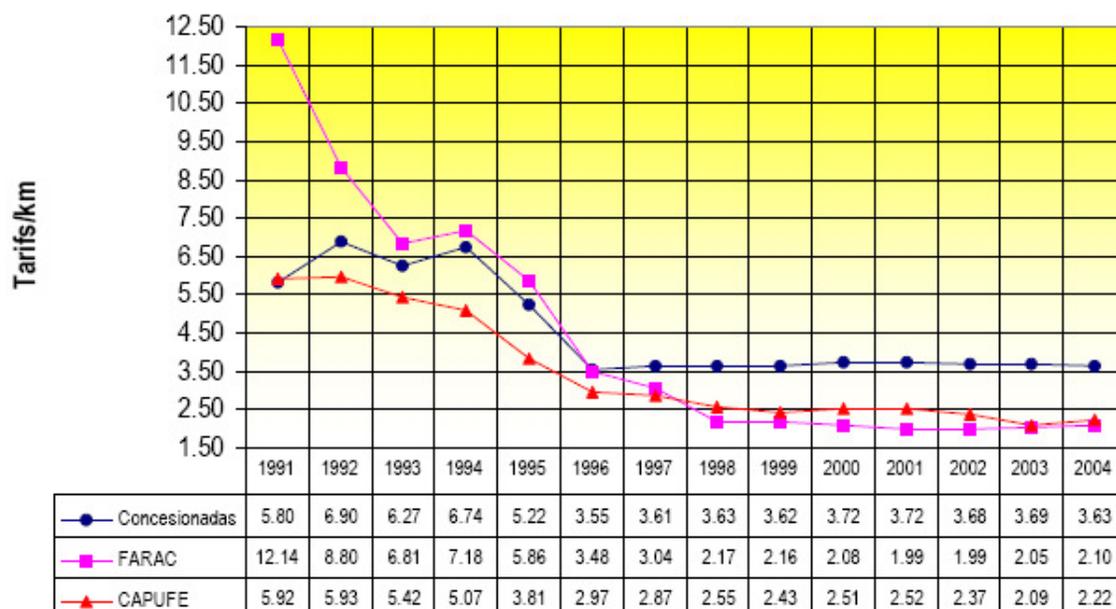


Figura 1.4. Diferencias de tarifas aplicadas a camiones en las tres Redes. Fuente: Rico S., “Determinación de tarifas óptimas para la red mexicana de autopistas de cuota”, PIARC, México, (2005).

Para complementar la información de las Figuras 1.1, 1.2 y 1.3, se adiciona la Tabla 1.9 para reunir y analizar las variaciones de las *(TCs)* en pesos/km de las tres clases vehiculares. Se distinguen diferencias de criterios para determinar sus montos por cada administración local. La red Fideicomiso de Apoyo para el Rescate de Autopistas de Cuota (FARAC) presenta las tarifas más elevadas.

Año	Red concesionada			Red FARAC			Red CAPUFE		
	Tarifas vehículo			Tarifas vehículo			Tarifas vehículo		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1991	1.38	3.45	5.80	2.54	7.10	12.14	1.07	3.22	5.92
1997	0.99	1.91	3.61	1.12	1.70	3.04	0.94	1.45	2.87
2004	1.01	2.00	3.63	0.95	1.49	2.10	0.68	1.35	2.22

Tabla 1.9. Tarifas en pesos/km de las tres redes de autopistas. Fuente: elaboración propia con información de Rico S., “Determinación de tarifas óptimas para la red mexicana de autopistas de cuota”, PIARC, México, (2005).

### 1.3.3. Criterios de fijación de tarifas

La Tabla 1.9 y de acuerdo con Rico S., (2005), para la red de concesionarios los ingresos por peaje (*PE*) se fijan para diferentes tipos de vehículos, estableciéndose una regla de actualización en el título de concesión. Además, el gobierno les garantiza una parte de los costos en función de las proyecciones

de tránsito. Es decir, si el tránsito fuera menor o se incrementaran los costos, el gobierno compensa estas pérdidas incrementando el tiempo de concesión.

En el caso de las autopistas del (FARAC), al inicio de su operación y hasta antes de su rescate, enfrentaron valoraciones equivocadas con respecto a los aforos vehiculares sobreestimados y las tarifas demasiado altas, situaciones que, sumadas a sobrecostos de construcción, llevaron al gobierno a fomentar un programa de consolidación de las autopistas concesionadas por medio del denominado Fideicomiso de Apoyo para el Rescate de Autopistas Concesionadas (FARAC).

### **1.3.4. Necesidad de un Modelo Tarifario Vehicular**

Teniendo como referencia los casos descritos, esta investigación destaca la necesidad de generar un Modelo Tarifario Vehicular (MTV) que defina una ( $TC$ ), adecuada y razonable, en función de variables ajustadas al comportamiento de las autopistas que, a su vez, influyan en el establecimiento de precios igualmente razonables y, consecuentemente, sean aplicados en las autopistas mexicanas.

## **1.4. Objetivo general**

Determinar un Modelo Tarifario Vehicular (MTV) para la actualización de tarifas de cuota en autopistas rentables y de altas especificaciones.

### **1.4.1. Objetivos particulares**

1. Estudiar los hallazgos realizados por investigadores del área del transporte en la problemática tarifaria relacionada con las autopistas de cuota.
2. Describir las diferentes variables que se han utilizado en los diferentes modelos tarifarios en las autopistas de cuota.
3. Determinar una metodología para la actualización de tarifas de cuota en autopistas rentables y de altas especificaciones
4. Aplicar la metodología para la obtención de modelos tarifarios para tres categorías vehiculares.
5. Identificar las ventajas y desventajas del modelo desarrollado en esta investigación con los modelos propuestos por otros autores.
6. Interpretar y analizar los resultados de la investigación personal y los trabajos de otros investigadores teniendo como referencia el valor de la ( $TC$ ).

## **1.5. Alcances**

La presente investigación tiene como finalidades:

1. Propone un Modelo Tarifario Vehicular (MTV) con un reducido número de variables y, específicamente aquellas provenientes del movimiento económico ejercido por los usuarios de las autopistas considerando: a) Tarifa de cuota ( $TC$ ); b) Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente (TDPAE); c) Ingresos ( $I_{ng}$ ); y d) Costos de deterioro ( $CD$ ) de la carpeta de rodamiento.

2. La aplicación del Modelo Tarifario Vehicular está relacionado con la metodología actual del Highway Capacity Manual, de los Estados Unidos (2000).

3. De acuerdo con los puntos anteriores, el presente trabajo de Tesis estudia el caso de la autopista México – Cuernavaca para obtener el citado Modelo Tarifario Vehicular (MTV), considerando que dicha autopista reúne las características que exige la investigación.

## **1.6. Delimitaciones**

Esta Tesis se circunscribe a las siguientes condiciones:

1. La información esencial manejada por el modelo se ajusta exclusivamente al período de 1991 hasta 2005. Esta referencia se debe a que el gobierno federal estableció el manejo de cifras monetarias en pesos a partir de 1991, en vez de miles de pesos, facilitando de esta manera los movimientos económicos con la eliminación de los tres ceros.

2. El (MTV) debe ser aplicable únicamente para autopistas de altas especificaciones. Éstas son carreteras que conservan un servicio alto en la superficie de rodamiento durante toda su vida útil. Para ello se eligen materiales de muy alta calidad, un diseño estructural riguroso de sus elementos y un estricto control de calidad en su construcción (Corro S., 1999). Además, estos proyectos ayudan a reducir los tiempos de recorrido.

3. El (MTV) se destina a autopistas que se han consolidado y muestren un Tránsito Diario Promedio Anual (*TDPA*) asegurado y, como consecuencia, sean económicas y altamente rentables.

## **1.7. Estructura de esta Tesis**

Este documento se organiza de la siguiente manera. En primer término se presenta la propuesta del Modelo Tarifario Vehicular (MTV) así como las variables identificadas que intervienen en su obtención, se plantean brevemente las condiciones iniciales que dieron lugar a la realización del modelo y los productos resultantes de su aplicación.

En el Capítulo 1 se aborda el tema principal de la investigación, así como su aplicación en autopistas de altas especificaciones, se adicionan las bases para justificar la investigación, los objetivos generales y particulares, así como los alcances y las delimitaciones del tema. Se complementa esta primera parte con la necesidad de un Modelo Tarifario Vehicular (MTV). Al final del capítulo se propone brevemente una disertación sobre la técnica del Yield Management.

El Capítulo 2 aborda el marco teórico referencial que ha permitido dar claridad a la investigación, en la que ha sido necesario efectuar una revisión de la literatura más importante del tema. También se discuten y describen las características de doce de las variables comúnmente utilizadas en los modelos tarifarios. En la última sección de este capítulo se analizan cuatro modelos tarifarios, teorías de apoyo de cada uno de estos modelos, se plantean ejemplos de aplicación con información proveniente del organismo central cuya resolución se proporciona en el anexo de este documento. También se hace una comparación entre los cuatro modelos para definir su eficiencia. Se complementa el capítulo con los criterios que se utilizan en México para la aplicación de la tarifa (*TC*) de cuota. Finalmente se incluyen las ventajas de los modelos de los modelos analizados.

En el Capítulo 3 se aporta una metodología para actualizar las tarifas y/o peajes en autopistas de cuota de alta rentabilidad. Este capítulo se enriquece con un diagrama de flujo que describe nueve pasos básicos y la secuencia detallada de las actividades pertinentes para desarrollar dicha metodología. Este proceso es una contribución más de esta Tesis a la metodología tradicional.

El Capítulo 4 corresponde a la aplicación del procedimiento metodológico para actualizar las tarifas de cuota, mediante la obtención de tres modelos tarifarios para las clases vehiculares A, B y C, utilizando para ello datos e información de la autopista México-Cuernavaca. Adicionalmente, en este capítulo se utiliza el Modelo Tarifario Vehicular (MTV) para reducir la  $(TC)$ , con la incorporación del tránsito vehicular de la carretera alterna a la autopista sin saturación y permite considerar que, con estas nuevas condiciones de tránsito, los usuarios se beneficiarían económicamente por la reducción del  $(PE)$  al mismo tiempo que la infraestructura deja de ser subutilizada.

En el Capítulo 5 se ofrece un análisis de resultados y se discuten las comparaciones entre modelos que sirvieron de base para el que propone este documento.

En las conclusiones y recomendaciones se presenta el cumplimiento de los objetivos de la investigación, así como un panorama muy general del sistema de peajes sombra como una futura línea de investigación y la posibilidad de obtener un modelo tarifario que pudiese aplicarse en México.

En las referencias se detallan los trabajos que sobre el tema se han publicado. También se ha integrado un anexo que contiene los fundamentos de cada modelo analizado. Finalmente en el apéndice se enlistan siete tablas del Highway Capacity Manual (2000) y otras nueve tablas generales correspondientes al tema referido.

## 2. Estado del arte

La conveniencia de disponer, analizar y, en algunos casos, de procesar los antecedentes y temas surgidos a través de la búsqueda en las diversas fuentes de información, ha requerido contar con la producción científica relacionada con el sistema tarifario y con ello desarrollar el presente trabajo de investigación.

### 2.1. Revisión fundamental de modelos tarifarios

Durante la búsqueda y recopilación de información técnica reportada en la literatura sobre aspectos relacionados con el sistema tarifario en general, se encontró que es sumamente extensa. Ante este escenario, se consideró adecuado orientar dicha actividad a la detección y análisis de la información para los fines del presente estudio relacionada con la  $(TC)$  aplicada en  $(ACs)$ . La mayoría de dichos estudios está vinculada a diferentes criterios de tarificación de autopistas. Adicionalmente, los estudios recopilados evalúan él  $(PE)$  en función de distintas y numerosas variables. El propósito principal de esta parte es valorar las aportaciones de una manera clara y sencilla, realizar un análisis comparativo dado que los modelos propuestos en cada trabajo se han obtenido en circunstancias diferentes.

En general, los estudios que se presentan en la Tabla 2.1, (pp. 24, 25, 26, 27, 28 y 30), muestran autores que manejan las tarifas de cuota en autopistas; cada matriz ofrece también información de los modelos tarifarios, título del artículo, año de publicación, estructura matemática, variables, supuestos y resultados que permiten ajustar el  $(PE)$ .

Existen otros autores que se han incluido en la revisión de la literatura. Estos trabajos no muestran el tema específico para determinar la  $(TC)$ , pero han sido de gran ayuda para formar ideas vinculadas con éste tipo de esquemas. Dicha información se presenta en la Tabla 2.2

	<b>Autor</b>	<b>Autor</b>	<b>Autor</b>
	(1) Rico A., Mendoza A., Rivera C.	(2) Levinson D.	(3) Matas A., Raymond J.
Año de publicación	1995	1998	1999
	Crterios para establecer la cuota óptima en una autopista de cuota (Logro del máximo ingreso del recaudador y del mínimo costo nacional del transporte).	Tolling at Frontier: A Game Theoretic Analysis	Elasticidad de la demanda en las autopistas de peaje
Modelo	$Fr(i) = \frac{1}{1 + e^{[1.2+0.03(C_i+T_j-C_j)']}}$ $VC_i = \frac{VC_{od}}{1 + e^{[1.2+0.03(C_i+T_j-C_j)']}}$ $Li = \frac{VC_{od}(T_i - DET_i)}{1 + e^{[1.2+0.03(C_i+T_i-C_j)']}}$ $DET_i = 0.1Li * NEEK$ $[0.03(T_i - DET_i) - 1]e^{[1.2+0.03(C_i+T_i)]} = 1$ $TC_2 = \frac{T_i}{\sum' fk * Tk}$	$f_b = \omega e^{\alpha(r_i+r_j)}$ $U_{ij} = -\frac{\omega e^{\alpha(r_i+r_j)}}{\alpha}$ $C_{Nij} = \frac{\phi}{\psi} \omega e^{\alpha(r_i+r_j)}$ $C_{vij} = \theta \omega e^{\alpha(r_i+r_j)}$ $R_{ij} = r_i \omega e^{\alpha(r_i+r_j)}$	$\Delta.LnZ_t = \beta_t \Delta LnPeaje + \gamma D_t + \varepsilon_t$
Variables	<p><math>Fr(i)</math>, es la fracción de vehículos que circulan por la autopista de cuota.</p> <p><math>T_j</math> es la tarifa promedio cobrada.</p> <p><math>C_i</math> y <math>C_j</math> son los costos incurridos por los vehículos que transitan por la autopista de cuota y por la alterna.</p> <p><math>VC_i</math> es el flujo diario de los vehículos que toman la alternativa <math>i</math>.</p> <p><math>VC_{od}</math> es el flujo diario con OD en ambos sentidos.</p>	<p><math>f_b</math> es el flujo que pasa por el punto b.</p> <p><math>\alpha, \omega</math> son parámetros del modelo.</p> <p><math>r_i</math> y <math>r_j</math> son los peajes cobrados en las jurisdicciones <math>J_i, J_j</math>.</p> <p><math>U_{ij}</math> es el superávit de los consumidores.</p> <p><math>N_{ij}</math> son los costos por el uso de la ruta.</p>	<p><math>\beta_t</math> es la elasticidad de la demanda al precio de la autopista para cada uno de los tramos.</p> <p><math>D_t</math> es una variable ficticia que recoge los cambios en la red,</p> <p><math>Z_t</math>, es la variación del tráfico en cada tramo.</p> <p><math>\varepsilon_t</math> es el error estándar de la regresión.</p>

	<p><math>I_i</math> es el flujo diario de ingreso neto, descontando el daño a la infraestructura.</p> <p><math>DET_i</math>, es el costo de deterioro promedio causado por los vehículos.</p> <p><math>NEE_k</math> es el número de ejes equivalentes que representa el vehículo tipo k.</p> <p><math>e = 2.718282</math>.</p> <p><math>L_i</math> es la longitud del tramo.</p> <p><math>f_k</math> es la fracción k vehicular.</p> <p><math>T_k</math> es la tarifa relativa.</p> <p><math>TC_2</math> es la tarifa óptima.</p>	<p><math>C_{vij}</math> son los costos de colección de peajes.</p> <p><math>R_{ij}</math> son los ingresos por peajes.</p>	
Supuestos	<p>1°. El capital invertido en la construcción debe ser recuperado con la tasa de interés en los periodos de recuperación pactados.</p>	<p>Este documento asume un camino extenso e infinito entre dos jurisdicciones <math>J_i</math> y <math>J_j</math>.</p> <p>Los peajes pueden ser recolectados en cualquiera de los puntos en una o en otra dirección, habrá también una variable de costos por recolección.</p>	<p>La existencia de carreteras de (PE) y de libre acceso puede originar asignaciones incorrectas de tráfico. Esta situación depende de factores como:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La variación en el precio de la gasolina se torna evidente en la demanda facilitando una disminución y frecuencia de viajes.</li> <li>2. La política de precios para la compra de un vehículo.</li> <li>3. Localización de las actividades.</li> </ol>
Resultados	<p>Los procedimientos presentados en este documento son aplicables, fundamentalmente, a autopistas nuevas con demanda poco arraigada (a diferencia de las autopistas con muchos años de operación que tienen una demanda muy consolidada).</p>	<p>Este documento considera las implicaciones de los peajes al proporcionar bienestar.</p> <p>Objetivos: maximización del bienestar, beneficio máximo, recuperación de costos, voluntad para cooperar</p>	<p>Las estimaciones indicaron que, la elasticidad – peaje difiere entre los tramos de autopista y para casi todos ellos se estimó con una elevada estabilidad temporal.</p> <p>De acuerdo a lo anterior, se obtuvo:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elasticidad a corto plazo baja. Entre 0 y -0.3</li> <li>2. Elasticidad a costo plazo media baja. Entre -0.3 y -0.4</li> <li>3. Elasticidad a corto plazo media ata. Entre -0.4 y -0.6</li> <li>4. Elasticidad a corto plazo alta. Superior a -0.6, en valor absoluto</li> </ol>

		cuando se trata de un escenario de cobro del peaje.	
	<b>Autor</b>	<b>Autor</b>	<b>Autor</b>
	(4) Hun H., Chung K.	(5) Bonifaz J., Urrunaga R., Wakeham J.	(6) Belenky P.
Año de Edición	2000	2001	2002
Título	An Application of Two – Part Tariff Pricing to Expressway: A case of Korea. Korea.	Financiamiento privado e impuestos: el caso de las redes viales en el Perú.	Principios para un financiamiento vial eficiente.
Modelo	1.- Tarifa base = (Total de la cuenta pública a ser recuperada)/(total de número de vehículos que usan la autopista durante el periodo de recuperación).  2.- Valor del peaje para la tarifa variable = (total del costo variable para el año)/( total de millas de todos los vehículos para el año).	$Peaje = Tarifa * Tip$ $o\ de\ cambio * \frac{CPI_2}{CPI_1}$	$MC_m^o = \lambda C / N_o$
VARIABLES	1. Tarifa base. 2. Total de la cuenta pública a ser recuperada. 3. Total de número de vehículos que usan la autopista durante el periodo de recuperación. 4. Tarifa variable. 5. Total del costo variable para el año 6. Total de millas de todos los vehículos para el año.	(PE) es la tarifa básica en soles. (TC) es igual a US\$ 1.20, US\$ 1.60 o US\$ 2.00 según sea el caso y fijada por la administración de mantenimiento. Tipo de cambio (TIC) es el formato de cambio de compra promedio del sistema financiero establecido por la	$M_m^o$ , es el costo medio de mantenimiento por “esal”. $N_o$ , es el número de “esal” que resiste el carril derecho antes de una inversión. $C$ , es el costo de la inversión (reconstitución de la estructura de la calzada), incluye la interrupción del tráfico. $\lambda$ , es la proporción de “esal” que circula por el carril derecho.

		Superintendencia de Banca de Seguros y publicado en el Diario oficial “El Peruano” y $\frac{CPI_2}{CPI_1}$ son los índices de precios al consumidor.	
Supuestos	El método existente para determinar la (TC) no es transparente y su aplicación es muy complicada.	El costo de los peajes establecido por la administración en ningún caso debe determinar pérdidas para los usuarios. El nivel de peajes debe considerar la estructura de costos de los vehículos y los ahorros que los usuarios logren por la elevación del servicio de la infraestructura rehabilitada.	1. Las tarifas que maximizan el beneficio suelen ser muy superiores al costo marginal. 2. Si se aplicara a los usuarios una carga monetaria igual a los costos que ellos le imponen a la sociedad se reducirían los costos sociales.
Resultados	Aplicar un nuevo método de determinación de tarifas en Korea orientado a buscar la mejor inversión para evitar desigualdad en la colección de peajes. Consiste en dos partes: Tarifa base y Tarifa variable. Ambas aseguran la recuperación del costo de inversión y aseguran fuentes estables de fondos para la inversión futura.	1. Con este modelo, el concesionario paga al estado una retribución que asciende a 5% de sus ingresos anuales por concepto de peajes. 2. Se garantiza un mínimo de ingresos al concesionario.	1. Para mejorar el uso de los caminos existentes se propuso la creación de un cargo a pagar por los usuarios que sea proporcional al peso por eje de cada vehículo. 2. Para reducir el costo social se propuso una política de inversión que incremente la durabilidad de los caminos como forma de reducir el mantenimiento ulterior.
	<b>Autor</b>	<b>Autor</b>	<b>Autor</b>
	(7) Vergara C., Robusté F.	(8) Robusté F.	(9) Megan K., Borges B., Proost S.
Año de edición	2002	2002	2002
Título	Un modelo de autopistas con precios de servicios.	El peaje en autopistas como precio por un	Decision on road freight tolls: Country versus EU Perspectives.

		servicio y como garante de sostenibilidad.	
Modelo	$I(Q^o) + \sum_{j=1}^T m_j(q_j, Q^o) + \sum_{j=1}^T B_j^o = \sum_{j=1}^T (\tau_j + \sigma) q_j$	$\tau = \max\langle \tau_{med}, \tau(\Delta \phi) \rangle$ $\tau(q) = \frac{\partial c_{medio}(q)}{\partial q} q$ $I(Q^o) + m(q, Q^o)T =$	<p>Modelo de simulación First- Best</p> $PE = \sum (\text{cos } tos.ambientales.externos) - (\text{cos } tos.combustible)$ $PEs = \sum \left( \frac{PE.de.rutas.de.un.país}{número.de.rutas.del.país} \right)$
Variables	<p><math>I(Q^o)</math> = Inversión en función de la calidad de la autopista.</p> <p><math>\sum_{j=1}^T m_j(q_j, Q^o)</math> = beneficios para el inversionista por aportar su capital.</p> <p><math>\sum_{j=1}^T B_j^o</math> = Costos de mantenimiento.</p> <p><math>\sum_{j=1}^T (\tau_j + \sigma)q_j</math> = Suma de tarifas.</p> <p><math>(\tau)</math>, es la cuota por transitar</p> <p><math>(\sigma)</math>, es la tarifa sombra.</p>	<p><math>\tau</math>, es la tarifa unitaria (Euro/veh-km).</p> <p><math>q</math> es el flujo de tráfico.</p> <p><math>c(q)</math> son los costos unitario medios por recorrer la distancia referida en ámbitos interurbanos.</p> <p><math>m(q, Q^o)</math>, son los costos de operación y mantenimiento.</p> <p><math>I(Q^o)</math>, es la inversión realizada en función de los estándares de calidad.</p> <p><math>T</math> es el periodo de operación.</p> <p><math>\sigma</math>, es un peaje sombra.</p>	<p><math>cos to.combustible = CI * longitud.de.carretera</math></p> <p>Donde:</p> <p><math>CI</math> es un factor de combustible.</p>
Supuestos	Se debe desvincular el ( $PE$ ) de los mecanismos financieros en una autopista de cuota.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El (<math>PE</math>) mínimo debe cubrir los gastos de mantenimiento y operación como tasa por uso.</li> <li>2. Las prestaciones diferenciales de la autopista con respecto a la alterna pueden pagar un precio <math>\tau(\Delta \phi)</math> en función de prestaciones diferenciales <math>\Delta \phi</math></li> </ol>	<p>En este trabajo se desea estudiar el nivel de bienestar de los efectos de la política de peajes de una carretera.</p> <p>Más específicamente el estudio comprendería los efectos de los peajes nacionales que se ejercen sobre los camiones y:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Volumen de tráfico de camiones.</li> <li>b) Volumen de tráfico de autos.</li> <li>c) Renta.</li> <li>d) Costos externos.</li> <li>e) Efectos de bienestar de un país y sus vecinos.</li> </ol>

		3. La oferta de transporte colectivo en la radial de acceso a una ciudad también debería modificar el peaje ( <i>PE</i> ) de acceso al alza por redundancia en la asignación de recursos.	
Resultados	<p>El modelo considera las concesionarias de autopistas de (<i>PE</i>) como operadoras en régimen de gestión desinteresada de forma que el peaje se define por prestaciones diferenciales de la autopista con respecto a las vías alternas.</p> <p>La tarifa (<i>TC</i>) no se aplica como mecanismo financiero.</p> <p>El usuario paga (<i>PE</i>) variable que responde al pago de los costos sociales por externalidades y prestaciones diferenciales respecto a alternativas razonables.</p>	<p>Se formula un modelo que contempla el peaje como precio por un servicio diferencial y como regulador de la sostenibilidad (entornos metropolitanos).</p> <p>También se define una estructura tarifaria adecuada (aplicada sobre el precio base).</p>	<p>El modelo se aplicó usando un caso de referencia. Se consideran impuestos al combustible. Solamente Francia tiene políticas sobre peajes, sin embargo, Francia fue elegida como país de referencia utilizando:</p> <p>Un peaje (<i>PE</i>) uniforme de:</p> <p>8€ por 100 km por camión y de 4€ por 100 km por auto.</p> <p>Es aplicada a todas las autopistas en Francia. Existen países que no aplican peajes.</p> <p>Los resultados cambian en los indicadores económicos y son mostrados en las gráficas de inferiores. Un nivel más uniforme de 18€ por 100 km para camiones y 5€ por 100 km para autos fue aplicado a todas las autopistas de Bélgica.</p> <p>Los resultados fueron comparados con la banca y el cambio se muestra en los indicadores económicos</p>

Tabla 2.1. Modelos tarifarios y sus variables. Fuente: elaboración propia con información contenida en el marco teórico.

	<b>Autor</b>	<b>Autor</b>
	(10) Barrios C. Martínez M.A., Toribio M.R.	(11) Pérez F., Pastor J.M.
Año de publicación	2001	2002
Título	Los beneficios de las inversiones en infraestructuras y el sistema de precios.	La financiación privada de infraestructuras: problemas y modalidades.
Modelo	$BN = \sum_{t=1}^t (B - C)(1 + r)^{-t}$	
Variables	<i>C</i> son los costos totales (financieros, construcción, mantenimiento, operación, ambientales y sociales). <i>B</i> son los beneficios sociales derivados de la realización del proyecto (ahorro en costos de funcionamiento, tiempo de desplazamiento y accidentes). <i>r</i> es la tasa de descuento.	
Supuestos	Existe relación entre las inversiones en infraestructuras y la tarificación de las mismas debido a que los beneficios sociales dependen de la demanda del proyecto que a su vez depende del sistema de precios que se implante por el mismo (se deben medir los beneficios sociales de los proyectos después de decidir la política tarifaria).	1. La participación privada supone ventajas sobre la pública al mejorar la eficiencia. 2. Se considera la necesidad de seguir invirtiendo en infraestructuras sin afectar los compromisos de gasto social.  Si se acepta esta modalidad convendría diseñar la estructura de financiamiento.
Resultados	Por la realización de una carretera existen tres grupos poblacionales afectados en su bienestar: 1. Los que se benefician por el proyecto. 2. Los contribuyentes que aportarían los fondos. 3. Todos los individuos que se perjudicarían por los costos. 4. La utilización de recursos generalmente escasos para este tipo de proyectos podrían ser destinados a otros que quizás generen más producción.	El financiamiento privado deriva en nuevos costos (construcción, explotación, mantenimiento de la infraestructura). Además se requiere: predicción de la demanda vehicular, determinar la rentabilidad del proyecto y diseño del sistema de peaje. Los peajes son la forma clásica de recuperación de la inversión como: 1. Peajes sombra. 2. Sistema de ticket. 3. Sistema de peaje abierto o cerrado. 4. Tarjetas magnéticas.

Tabla 2.2. Otra información incluida en la revisión bibliográfica. Elaboración propia con información del estado del arte

### **2.1.1. Confrontación y comparación de aportes**

Ya han sido citados los trabajos relacionados con algunos modelos tarifarios en la Tablas 2.1 y 2.2. Aquí se demuestra que existen diferentes criterios para la obtención de un modelo tarifario. Estos criterios están respaldados también por la utilización de distintas variables cuando se determina la  $(TC)$ . A continuación se hace una comparación y confrontación entre dichos modelos de acuerdo con su estructura.

#### **2.1.1.1. Modelos con estructura de costos**

Algunos modelos se estructuran hasta con seis ecuaciones y catorce variables para determinar la tarifa de cuota, como el de Rico A., *et al.*, (1995). Este estudio se apoya fundamentalmente en los Costos de Operación Vehicular ( $COV_s$ ) que genera un vehículo C2 (camión de dos ejes) cuando transita en la autopista y en la alterna; emplea además tablas y gráficas que complementan el proceso de cálculo de la  $(TC)$ . Emplea también la longitud del tramo y no considera la inversión e intereses a capital. Dentro de esta categoría también se encuentra el modelo de Levinson D., (1998), el autor utiliza cinco ecuaciones para solucionar el peaje y recurre a los diferentes variables relacionadas con los costos que involucran el cobro de peajes, el flujo vehicular y los ingresos por la recolección de peajes del sistema. En ambos modelos se realiza una revisión de los factores que inciden en la  $(TC)$ , así mismo de las ecuaciones fundamentales que se emplean para la modelación de este comportamiento. El proceso de cálculo del  $(PE)$  en ambos modelos es más laborioso y preciso.

#### **2.1.1.2. Modelo econométrico**

El análisis econométrico es utilizado por Matas A., *et al.*, (1999), en su investigación efectúan una estimación de la demanda de tránsito en las autopistas de España. En dicha estimación, la demanda está determinada en función de variables como: producto interno bruto (PIB), precio de la gasolina, precio de la cuota y calidad de la carretera alterna. Las cuatro variables se agrupan para determinar elasticidades a corto y largo plazo. Como resultado de ese estudio local, las estimaciones indicaron que la demanda de usuarios en autopistas está relacionada con la actividad económica y que el consumidor es sensible al precio o aumento del  $(PE)$  y/o gasolina. Por último, los autores aseguran que la calidad de las alternativas también sensibiliza al usuario por el porcentaje del tráfico pesado y la velocidad desarrollada por el vehículo.

#### **2.1.1.3. Modelo estructurado con tarifa en dos partes**

Hun H., *et al.*, (2000) ofrecen un modelo tarifario en dos partes, en cada caso se determina una  $(TC)$  base y una  $(TC)$  variable en función de la inversión total de construcción y de los costos variables (mantenimiento) de la infraestructura, respectivamente. Se adiciona al modelo una tercera ecuación de regresión para pronosticar el tráfico en un horizonte de 30 años. Este dato (flujo vehicular) es parte fundamental del proceso para calcular ambas tarifas.

#### **2.1.1.4. Modelo con variables macroeconómicas**

Bonifaz J., *et al.*, (2001) efectúan un estudio a partir de variables macroeconómicas para determinar la  $(TC)$ . Este modelo se caracteriza por manejar índices de precios al consumidor, el tipo de cambio que rige en el país que desea adoptar dicho modelo y una tarifa inicial que contempla los costos de mantenimiento.

### **2.1.1.5. Modelos equilibrados financieramente**

Existen modelos como el de Vergara C., *et al.*, (2002) y el de Robuste F., (2002) que, en situaciones de desequilibrio financiero para el inversionista, utilizan una (*TC*) sombra que aporta el gobierno federal. El primer modelo emplea los costos de inversión para la construcción de la infraestructura, los costos de mantenimiento y un beneficio económico (interés a capital) para el inversionista. El segundo se vale del cálculo inicial del (*PE*) como el producto del tráfico por el costo medio (tasa por uso), posteriormente él (*PE*) se integra al modelo para equilibrarlo financieramente. Ambos modelos coinciden en que si se aplican peajes onerosos en horas punta se reduce la congestión.

### **2.1.1.6. Modelo con algoritmo de estructura bi-nivel.**

Los métodos de cálculo de (*PEs*) con algoritmos de estructura bi-nivel han sido poco utilizados en la determinación de (*TCs*); sin embargo, Megan K., *et al.*, (2002), realizaron un estudio con algoritmos de estructura de este tipo y han dado a conocer las condiciones de su modelo. El objetivo del estudio es analizar el impacto económico de los peajes en carreteras sobre fletes de tráfico y sus correlaciones con tránsito vehicular de autos. El impacto económico refiere variables como: bienestar social (*W*), peajes renta (*TR*), superávit del consumidor (*CS*) y costos ambientales (*EC*). Además, el modelo pretende calcular los peajes óptimos en cuatro regiones: Francia (F), Bélgica (B), Holanda (NL), Alemania (D). El modelo consiste de dos componentes: red en equilibrio y el análisis económico.

### **2.1.1.7. Modelo que involucra descargas por eje de vehículo**

Belenky P., (2002) analiza la posibilidad de tarificar por peso descargado por eje de vehículo. Considera que el deterioro que generan los camiones en la carpeta de rodamiento no depende de su peso total, ni del número de ejes, sino del peso por eje descargado. Por estas consideraciones, la inversión en una infraestructura tiene dos dimensiones: capacidad y durabilidad; la primera se relaciona con la posibilidad de acomodar vehículos sin generar congestión, la segunda responde a la posibilidad de que vehículos pesados eviten excesivos daños al pavimento.

Los costos del desgaste del camino incluyen al mantenimiento y los costos operativos (reparaciones, depreciación, combustible y valor del tiempo de las personas o las cargas trasladadas). El elemento dominante en los costos de mantenimiento es la necesidad de reconstruir periódicamente, el pavimento luego del paso de un número determinado de ejes definidos en forma estándar (el eje estándar es sencillo y de 18,000 libras denominado “ESAL” –el daño se expresa en términos de “ESALs”, que es la carga equivalente a un eje estándar –). Concretamente y según dicho autor, el deterioro generado por el paso de un vehículo es proporcional a la 3ª o 4ª potencia de su peso por eje (el daño causado por un camión de 13 Ton es mil veces mayor al causado por un automóvil).

## **2.2. Descripción de variables**

A continuación se describen las variables que están involucradas en los modelos tarifarios. Estas son diversas y se ha considerado para definir criterios en aquellos investigadores que se han dedicado a la obtención de un modelo tarifario que cumpla con las expectativas tanto de los operadores de proyectos, como de los usuarios y de la administración pública. La utilización de modelos para la obtención de una (*TC*) que cumpla con las expectativas de los actores depende de variables cuyos valores se tienen ya registrados en manuales. En otros casos existen modelos que utilizan variables que dependen de otras para obtener el costo por transitar. En general, las variables que se presentan confirman la

diferencia de criterios de cada autor con respecto a la obtención de la  $(TC)$ . Las variables más frecuentes se sitúan con relación a la longitud del tramo, el tráfico vehicular y a la inversión aportada; por otra parte las variables menos frecuentes son el tipo de cambio y los ejes equivalentes. La Figura 2.1, muestra las variables mas empleadas cuando se trata de determinar la tarifa de cuota.

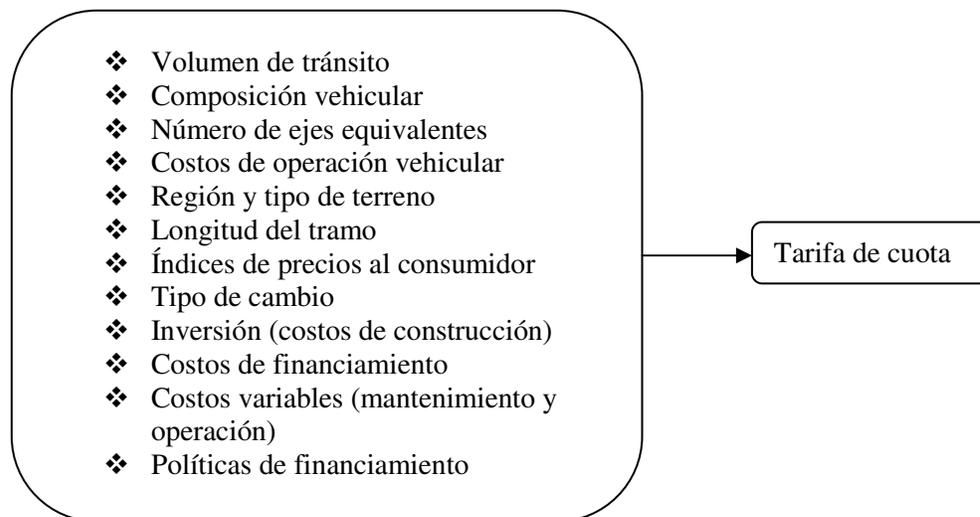


Figura 2.1. Tipos de variables empleadas en los modelos. Fuente: elaboración propia, con base a información del marco teórico.

### 2.2.1. Tarifa de cuota

Las  $(TCs)$  aplicadas a los usuarios de autopistas deben absorber los costos de los servicios prestados, incentivar la modernización de los sistemas operativos y generar un excedente que remunere, de forma razonable, el capital invertido.

Teniendo como referencia la definición anterior proporcionada por el Libro Blanco (2004), la  $(TC)$ , es la variable pretendida cuando se trata de utilizar algún modelo tarifario. Básicamente, el valor del  $(PE)$  se vincula con otras variables que intervienen en los cálculos; existe, por tanto, una influencia de éstas sobre la variable principal.

### 2.2.2. Volúmenes de tránsito

Este concepto está relacionado con la cantidad de vehículos que transitan por determinado punto de una carretera. Usualmente es conocido como Tránsito Diario Promedio Anual  $(TDPA)$  y se cuantifica en los puntos de recolección de  $(PEs)$  (tarea realizada por la administración central de cada país). Los resultados de la medición arrojan porcentajes para cada categoría vehicular, tramo y autopista. Los conteos proporcionan un dato importante de la categoría A (automóviles): constituyen, en promedio, 80% de los vehículos que transitan por las autopistas. Para un caso particular, la Tabla 2.3 recoge los volúmenes de tránsito en la autopista México - Cuernavaca.

Año	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
(TDPA)	18,607	18,049	17,979	19,176	19,469	19,903	22,041	23,159	24,332	25,204	26,241

Tabla 2.3. TDPA de la autopista México - Cuernavaca. Fuente: elaboración propia con información de Datos Viales, SCT, de 1995 hasta 2005.

La Tabla 2.3 indica una tasa importante de crecimiento del parque vehicular de la autopista referida de 18, 607 a 26,241 unidades, lo que representa 141%, entre 1995 y 2005. En términos generales, el crecimiento vehicular de las autopistas rentables en México es sólido y significativo. Con los datos de esta tabla se puede construir la grafica mostrada en la Figura 2.2 donde se observa en detalle el comportamiento vehicular

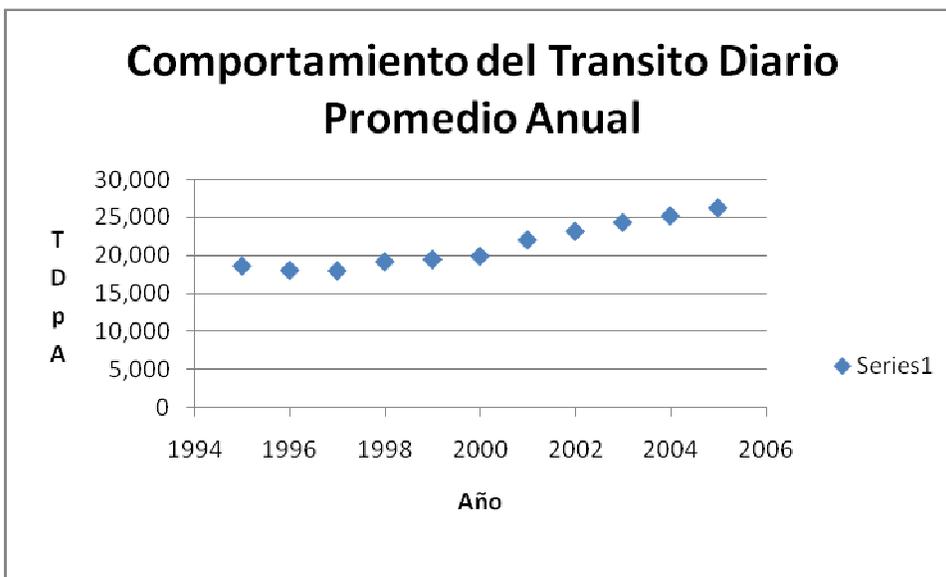


Figura 2.2. Actuación del TDPA de la autopista México – Cuernavaca. Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 2.3

### 2.2.3. Composición vehicular

Es un conjunto de unidades vehiculares diversas que conforman el parque vehicular que transita por las autopistas de cuota; comprende: automóviles, pick-ups, panel, motocicletas, vans, autobuses, camiones y tractores con remolques. La (TC) aplicada a estas unidades difiere por tamaño, peso y número de ejes de los vehículos. Por ejemplo, la (TC) de la categoría “A” es menor al de otras categorías vehiculares.

La clasificación vehicular se muestra en la Tabla 2.4 con la descripción del vehículo en dicho formato. Por ejemplo, un camión de dos y tres ejes es un vehículo con dual, los camiones de tres, cuatro, cinco, seis, siete y ocho son del tipo tándem (excepto el eje delantero) y los camiones de nueve ejes tienen un remolque de dos ejes en tándem.

Tipo de vehículo	Descripción
A	Automóvil, pick-up, van y motocicleta
AR	Automóvil con remolque
B2	Autobús de dos ejes
B3	Autobús de tres ejes
B4	Autobús de cuatro ejes
C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 y C9	Camión de dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho y nueve ejes

Tabla 2.4. Descripción vehicular por categoría. Fuente: Datos Viales, Dirección General de Servicios Técnicos, SCT, (2005), México.

#### 2.2.4. Número de ejes equivalentes

El Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT (1991), indica que los camiones reducen la capacidad de un camino en términos del total de vehículos que circulan por hora. Cada camión desplaza a vehículos ligeros en la circulación, a este número de vehículos se les llama vehículos ligeros equivalentes. En un terreno plano donde los camiones circulan a velocidades semejantes a la de vehículos ligeros, un camión equivale a 1.7 vehículos ligeros en autopistas.

Para la obtención de autos equivalentes se utilizan factores que tiene influencia en la capacidad y volumen de servicio de un camino y se han obtenido de acuerdo con el tipo de terreno. Estos factores están tabulados en el apéndice B de este documento. El número de ejes equivalentes ( $NEE_k$ ) permite determinar el deterioro en la carpeta de rodamiento utilizando el modelo de Rico A.

#### 2.2.5. Costos de operación vehicular ( $COV_s$ )

Cada una de las categorías vehiculares descritas en la Tabla 2.4, sitúa características de costos de operación muy particulares: adquisición, mantenimiento, operación, desgaste de llantas y combustibles. Por tanto, cada unidad vehicular atrae costos de operación vehicular distintos.

La obtención de los ( $COV_s$ ) se fundamenta en la adaptación de los modelos del Banco Mundial al caso de México. Es importante decir que en los estudios intervienen instituciones académicas y dependencias involucradas en la planeación, construcción y operación de carreteras de diversos países. Por ejemplo, los estudios de Brasil presentaron la mayor cobertura y semejanza en cuanto a tipos de vehículos y características de caminos, mayor similitud económica con relación a las condiciones prevalecientes en México (Arroyo J., *et al.*, 2002). En Tabla 2.5 se manifiestan las variables que intervienen en el cálculo de los ( $COV_s$ ).

Concepto	Concepto
1. Tipo de terreno	6. Tipo de vehículo
1.1. Plano	6.1. Ligero
1.2. Lomerío	6.2. Autobús
1.3. Montañoso	6.3. Camión
2. Tipo de rodadura	7. Rugosidad del pavimento
3. Consumos	8. Costos de insumos
3.1. Combustibles	8.1. Combustibles
3.2. Lubricantes	8.2. Lubricantes
3.2. Llantas	8.3 Llantas
4. Mantenimiento del vehículo	9. Depreciación de llantas
5. Tasa de actualización	

Tabla 2.5. Variables requeridas en la determinación de los COVs. Fuente: elaboración propia con base en información contenida en. Aguerrebere R., Cepeda F. “Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras”, Publicación No. 30, IMT, (1991).

Para complementar la información de la Tabla 2.5 se adiciona la Tabla 2.6, en la que se reúnen los factores de ( $COV_s$ ) en (\$/km) de la autopista México-Cuernavaca. Se observa que estos factores varían por categoría vehicular; por ejemplo, los costos de operación vehicular para autos es de \$ 3.22/km. también, se muestra en la tabla el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que es la escala internacional para medir la rugosidad de los pavimentos –sus unidades son m/km–, en la que el valor cero indica la ruta sin rugosidad.

IRI	Categoría A	Categoría B2	Categoría C2
2	\$3.22/km.	\$11.77/km.	\$6.87/km.

Tabla 2.6. Factores de los costos de operación vehicular. Fuente: Dirección de Servicios Técnicos, Dirección de Vialidad de Proyectos, Departamento de Evaluación Técnica y Económica de SCT. México

### 2.2.6. Región y tipo de terreno

Los proyectos carreteros se construyen en diferentes tipos de terreno: plano, lomerío y montañoso, y las condiciones particulares del terreno inciden en los costos de combustibles y estos, a su vez, en los ( $COV_s$ ). Dichos valores están registrados y tabulados en los manuales de las dependencias gubernamentales o administraciones centrales dedicadas al transporte. Es evidente que, en un terreno plano, el valor de los ( $COV_s$ ) de las unidades vehiculares son menores con respecto a un terreno montañoso.

Con el apoyo y utilización de gráficas como las que se presentan en la Figura 2.3, es posible replantear los ( $COV_s$ ) de acuerdo con el tipo de terreno (montañoso, lomerío o plano). Lo anterior expresa el empleo de diferentes gráficas por la existencia de otras categorías vehiculares (A, B1, B2, B3, C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 y C9).

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

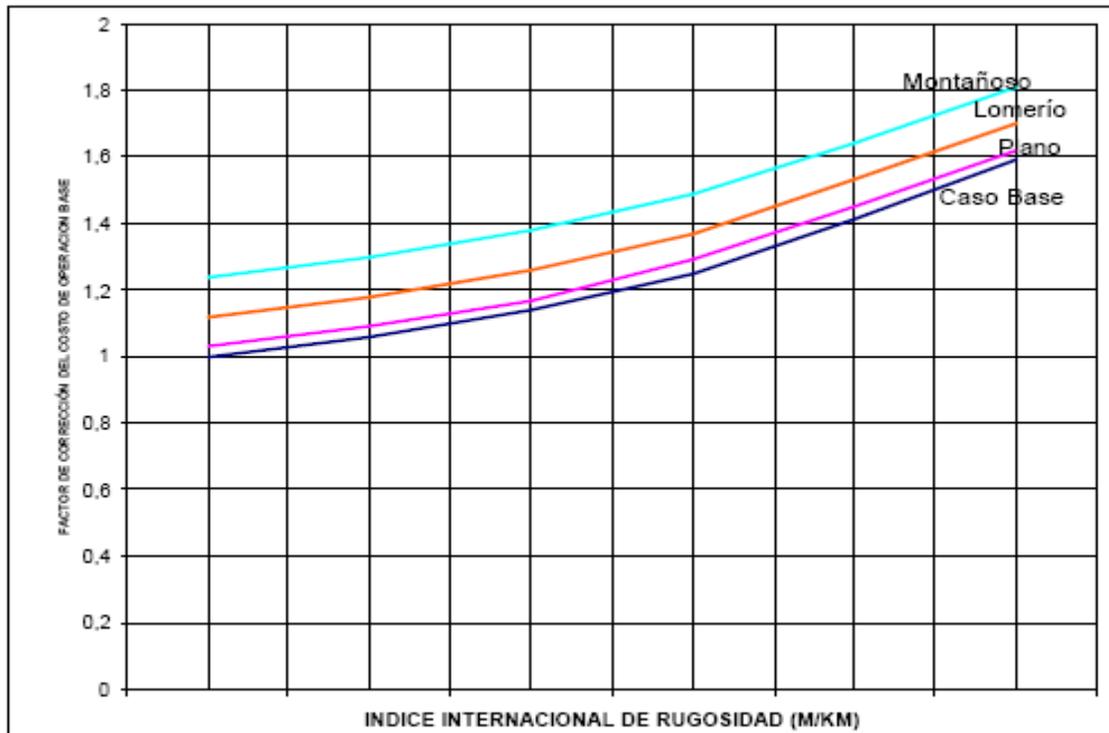


Figura 2.3. Gráficas de ayuda para afectar los COVs por tipo de terreno. Fuente: Aguerrebere R., Cepeda F. “Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras”, Publicación No. 30, IMT, (1991).

### 2.2.7. Longitud del tramo

Esta variable se refiere a la distancia real del servicio recorrida  $L_i$  por un vehículo cuando transita en una autopista. Usualmente para la fijación del ( $PE$ ) se tomará como proporcional a la distancia recorrida; sin embargo, en el modelo de Rico A., y específicamente en la ecuación  $Det_{i,k} = 0.1L_i * NEE_k$ , la variable  $L_i$  indica que, a mayor distancia, se obtienen mayores deterioros de la carpeta de rodamiento y, en consecuencia, valores del peaje también mayores.

### 2.2.8. Índices de precios al consumidor

Esta variable se define como el promedio ponderado de los bienes de un conjunto específico de bienes y servicios, consumidos por las familias (conocido como canasta básica o de mercado), que es convertido a una serie de tiempo que relaciona los precios de un período con los precios de otro período. Las ponderaciones se basan en la importancia relativa que las familias asignan al gasto, de acuerdo con el nivel de sus ingresos.

### 2.2.9. Tipo de cambio

El tipo de cambio ( $TIC$ ) expresa el número de unidades de moneda nacional que se entregan para obtener una unidad de moneda extranjera y está influenciada por la oferta y la demanda de divisas. Es decir, la oferta de divisas tiene como contrapartida la demanda de moneda nacional y la demanda de

divisas tiene como contrapartida la oferta de moneda nacional. Esta variable refleja los efectos de la inflación de un país.

### **2.2.10. Inversión (costos de construcción)**

Las inversiones realizadas por las empresas concesionarias difieren económicamente por las condiciones físicas donde se construye la infraestructura vial. Ello significa que el costo de construcción (obras estructurales como túneles, puentes y grandes movimientos de tierras) en un terreno montañoso implicará un mayor financiamiento.

Los costos de construcción y mantenimiento programado de la infraestructura varían y dependen de la región (por tipo y calidad de materiales, insumos y mano de obra, rendimientos, y tipo de maquinaria). Estos parámetros permitirán su cuantificación para obtener el costo de construcción. Este costo es un monto fijo que deben asumir los operadores de una carretera de peaje. Es usual recurrir a índices de costos de construcción para facilitar el proceso y obtener el monto total del proyecto.

### **2.2.11. Costos variables**

Los costos variables intervienen en el mantenimiento cotidiano de la infraestructura (reparaciones por el uso frecuente, escobillado, barrido y reafine, limpieza de taludes), y sus montos se establecen de acuerdo con la ubicación, tipo y características de la autopista. Existen otros costos variables y corresponden a la administración del proyecto y al rendimiento de la inversión si el capital se hubiese depositado en un banco.

### **2.2.12. Políticas de financiamiento**

Los bancos –nacionales y mundiales- tienen sus propias políticas de financiamiento que mezclan diferentes condiciones para tal efecto. Los gobiernos invitan a capitales privados a participar en los procesos, mediante mecanismos de concesión, para construir, operar y transferir (BOT) y/o proyectos públicos – privados (PPP), con el necesario desarrollo de marcos legales para atraer a los inversionistas.

Para impulsar los PPP, los países ofrecen a los inversionistas garantías en los niveles mínimos de tránsito para asegurar sus ingresos correspondientes a la recuperación y ganancias de la inversión. Por ejemplo, las autoridades mexicanas han ideado un esquema en que con la participación de BANOBRAS, los inversionistas solicitan un cierto monto de contribución subordinada del gobierno que permitirá una mayor tasa de retorno para los inversionistas.

Por otro lado, los desarrolladores de autopistas en América Latina están descubriendo que la entrada fuerte de bancos europeos ha abierto la posibilidad de plazos más largos. Los inversionistas individuales se han interesado en títulos con retornos más altos y vencimientos más largos con mayores riesgos crediticios (deuda que no tiene grado de inversión).

La mayoría de los patrocinadores de proyectos tienden a estructurarlos en la categoría más baja de grado de inversión para llevar al máximo su apalancamiento y retorno a capital. Con bajo apalancamiento, y manteniéndose igual todos los otros aspectos del proyecto, sería posible obtener calificaciones más altas.

En este rubro se clasifican algunas debilidades que influyen y evitan que las transacciones de autopistas obtengan un grado de inversión bajo (Standard and Poors, 2004): a) Tránsito débil en el corredor en el que opera la autopista; b) Tránsito volátil ocasionado por desaceleraciones económicas, regionales o

locales, o por la competencia de vías alternas u otros medios de comunicación; c) Dependencia excesiva de una clase de usuario o motivo de viaje; d) Marco regulatorio con constante cambio o sin aprobarse; e) Establecimiento de tarifas que requiere la aprobación de la autoridad correspondiente para poder realizar cambios; f) Estructuras altamente apalancadas que evitan que la generación de flujo cubra el servicio de la deuda adecuada; g) Dependencia excesiva del crecimiento de tránsito que exige que el proyecto tenga un esquema de amortización cargado hacia el final del plazo; y h) Costos y financiamientos en una moneda diferente de la que genera la autopista.

Actualmente, la inversión en carreteras también involucra la participación de gobiernos estatales. En este ámbito se comprende el potencial económico de ciertos corredores viales, diferenciándolos de los que no son económicamente rentables. Por consiguiente, con el fin de proporcionar un servicio a las ciudades y comunidades donde el uso y densidad de población son bajos, el mercado local está tratando de obtener financiamiento estructurado para la construcción de tramos potencialmente rentables y así para modernizar o construir los no rentables.

### **2.2.13. Riesgos en la paridad de la moneda**

Un problema persistente para los proyectos de infraestructuras ha sido el riesgo de crear un desequilibrio entre la moneda de la deuda (con frecuencia denominada en dólares) y la moneda del proyecto. La posibilidad de una devaluación rápida y aguda puede hacer que un proyecto resulte más costoso. Estándar and Poors afirma que algunos mercados locales han eliminado ese riesgo, optando por financiar los proyectos bajo esquemas garantizados provistos por aseguradoras internacionales monolínea (que reciben calificaciones de fortaleza financiera de calidad, se someten a un régimen de reglamentación especial en que se estipulan requisitos de equilibrio entre capital y riesgo). Sin embargo, el mercado mexicano acepta riesgos independientes que conllevan un mayor riesgo crediticio.

### **2.2.14. Métodos de cobro de peaje**

Los métodos más comunes de recolección de (*PEs*) son manuales y electrónicos, instalados en las plazas para la operación del sistema de cobro. Las funciones requeridas para la operación de estos sistemas son: vigilancia, mantenimiento, personal, operaciones de tráfico y clasificación de vehículos.

Un sistema de cobro electrónico (CE) tendrá más ventajas sobre un manual (CM), ya que el primero reduce el personal que atiende casetas y costos asociados con la impresión y entrega de recibos. Sin embargo habrá desventajas en el primero por la implantación de otros costos que incluyen el manejo de las cuentas de los usuarios, la venta de etiquetas electrónicas y el mantenimiento del equipo.

El uso de carriles con (CE) tiene el potencial de reducir trabajos de expansión o reconstrucción de plazas de cobro; en cambio, usando métodos tradicionales de cobro, un carril de una autopista debe ampliarse a tres carriles de aproximación y a seis casetas de cobro, esto es, para lograr que la capacidad de la autopista no se vea limitada por la plaza de cobro.

Los costos de explotación en Europa suponen 75% de los costos de construcción y 25% de los ingresos por (*PE*). La partida correspondiente al costo de personal es igual a 44 %, distribuido de la siguiente manera: 26 % a personal de mantenimiento y 18% a personal de administración, (Gínés de R., *et al.*, 2000).

## 2.3. Análisis y discusión de modelos tarifarios

Se han seleccionado cuatro artículos que tratan diferentes perspectivas en la determinación de modelos tarifarios, por ser los que más se aproximan al objetivo de la presente Tesis. Dichos modelos se refieren a:

1. Criterios para establecer la cuota óptima en una autopista de cuota (logro del máximo ingreso del recaudador y del mínimo costo nacional del transporte), de Rico A., *et al*, (1995).
2. An Application of Two – Part Tariff Pricing to Expressway: a case of Korea de Hun H., *et al*, (2000)
3. Financiamiento privado e impuestos: el caso de las Redes Viales en el Perú, de Bonifaz J., *et al*, (2001).
4. Un modelo de autopistas con precios de servicios, de Vergara C., *et al*, (2002).

La elección de analizar los modelos tarifarios indicados se basa en que cada uno de ellos emplea juicios importantes relacionados con el desarrollo de ésta investigación, como se expone en las Tablas 2.1 y 2.2. Aquí se incluyen también los razonamientos que emplean otros países como España, Perú, Korea y México para definir el Modelo Tarifario Vehicular (MTV) de esta investigación. Esencialmente, la exploración de modelos tarifarios tiene una finalidad: la formación de juicios particulares que permitan aportar mecanismos para formular otros y nuevos ambientes tarifarios.

### 2.3.1. Definición de modelo

Asimov I., (1986), modelo, es una idealización de la realidad utilizada para plantear un problema, normalmente de manera simplificada y en términos matemáticos.

Con base en la definición anterior, se propone un Modelo Tarifario Vehicular (MTV) que se ajuste a las condiciones reales que prevalecen en el sistema carretero. Para ello aún se requiere el establecimiento de otros conceptos.

### 2.3.2. Supuestos teóricos de los modelos tarifarios

La teoría en que se apoyan los temas analizados está relacionada con la obtención de un modelo tarifario. Los diferentes modelos propuestos para representar la  $(TC)$  surgen, precisamente, por las diferentes variables que existen en ese ambiente. Aquí se han involucrado diversos investigadores tanto del área económica como de la ingeniería financiera de diferentes partes del mundo.

En las secciones siguientes se presenta un resumen de las fases teóricas más relevantes de los modelos tarifarios. La intención es presentar una visión general que permita establecer el marco de referencia en el que se va a desarrollar este trabajo.

### 2.3.3. Modelo tarifario de Vergara C., *et al*, (2002)

Estructura matemática:

$$I(Q^0 + \sum_{j=1}^T m_j(q_j, Q^0)) + \sum_{j=1}^T B_j^0 = \sum_{j=1}^T (\tau_j + \sigma)q_j \quad [2.1]$$

Donde:

$I(Q^o)$  es la inversión en función de la calidad de la autopista.

$\sum_{j=1}^T m_j(q_j, Q^o)$ , son los beneficios para el inversionista por aportar su capital.

$\sum_{j=1}^T B_j^o$ , representan los costos de mantenimiento.

$\sum_{j=1}^T (\tau_j + \sigma)q_j$  equivale a la suma de tarifas.

$(\tau)$ , es la cuota por transitar.

$(\sigma)$ , es la tarifa sombra.

Actualmente, como consecuencia de la renegociación en los contratos de concesión de autopistas, el precio del ( $PE$ ) se ha convertido en una variable contable para garantizar el equilibrio financiero de los operadores de proyectos. Con este argumento, y considerando autopistas de altas prestaciones que han sido concesionadas a empresas privadas por parte de la administración, Vergara C., *et al.*, (2002) proponen un modelo de tarifas que permita desvincular el ( $PE$ ) del mecanismo financiero. Es decir, que sea exclusivamente un instrumento para pagar un servicio recibido (pago por uso).

De acuerdo con el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte, España, (2005), una autopista de altas prestaciones es aquella que refleja alto criterio de diseño, funcionalidad y alto nivel de servicio. En otras palabras se ofrece: a) Alta capacidad (vías de calzadas separadas con al menos dos carriles de circulación en ambos sentidos); b) Altos estándares de seguridad; y c) Progresivo sistema avanzado de gestión y servicios al usuario.

### 2.3.3.1. Teoría del modelo

Existe la posibilidad de separar la parte financiera y específica del corredor vial, concerniente a los compromisos del gobierno para la retribución al concesionario por la construcción, la operación y el mantenimiento de infraestructuras carreteras mediante la recaudación global de las tarifas de cobro.

El modelo referido en [2.1] se apoya en dos principales líneas:

### 2.3.3.2. Ingeniería económica

Las variables:  $I(Q^o)$  y  $\sum_{j=1}^T B_j^o$  están íntimamente relacionados con la inversión y los beneficios

económicos, respectivamente, y son los derechos para el concesionario por aportar su capital. Para lograr tales rendimientos, se deben emplear los términos que maneja la ingeniería económica, por ejemplo: flujos netos, valor del dinero a través del tiempo, tasa de descuento y periodos de capitalización. Así también, se requiere de la expresión:

$$F = A \frac{[(1+i)^n - 1]}{i} \quad [2.2]$$

Donde  $F$  es el valor futuro;  $A$  son las anualidades;  $i$  es la tasa de descuento; y  $n$  es el número de periodos que, en este caso, debe coincidir con el plazo de ejecución de los trabajos del proyecto carretero (plazo de concesión).

### **2.3.3.3. Criterios de movilidad**

A los usuarios les asiste el derecho de que las vialidades se planifiquen con funcionalidad y se diseñen para una mejor movilidad. En otras palabras, la inversión ( $I_o$ ) aportada lleva implícito el índice de calidad ( $Q^o$ ) de construcción de la vía y, forzosamente, la prestancia en los niveles de diseño del proyecto conllevará una mejor movilidad y el pago de una tasa por uso de un servicio.

### **2.3.3.4. Costos de mantenimiento**

La calidad de la infraestructura ( $Q^o$ ) está ligada a los materiales empleados en su mantenimiento. La selección de estos materiales y la mano de obra inciden en costos de mantenimiento ( $\sum_{j=1}^T m_j, Q^o$ ), que son requeridos para su adquisición y utilizados en las obras de conservación y mantenimiento de las instalaciones de la infraestructura.

### **2.3.3.5. Entorno del modelo**

El modelo tarifario descrito implica tres factores fundamentales: a) Usuario; b) Concesionario; y c) Administración. Cada uno de ellos asume responsabilidades obligadas: i) El usuario deberá comprender que el servicio recibido por una vía de altas prestaciones conlleva el pago de un ( $PE$ ); ii) Los operadores y/o concesionarios prestadores de un servicio debe recibir un pago justo por la operación de la infraestructura de altas prestaciones; y iii) La administración debe vigilar que se proporcione un servicio con calidad, de acuerdo con las características y prestaciones de la vía.

### **2.3.3.6. Objetivo del modelo**

Aplicar al usuario, mediante un esquema tarifario, una tasa de peaje justa por uso de un servicio recibido, suficiente para que el concesionario reciba beneficios económicos por el aporte de su capital en la construcción, la operación y el mantenimiento de la infraestructura, y que la administración no lo conciba como parte de un mecanismo financiero.

### **2.3.3.7. Fortalezas del modelo**

La característica favorable del modelo consiste en que los agentes principales interactúan, se engloban y se relacionan unos con otros para beneficiarse entre sí. En otras palabras, se establece un equilibrio financiero para que las empresas privadas obtengan una rentabilidad de sus inversiones a riesgo moderado (beneficio para los operadores), funcionando con tasas de peaje bajas (beneficio para el usuario) y realizando el mantenimiento y la explotación según los criterios de calidad pactados con la administración (autoridad reguladora).

### **2.3.3.8. Debilidades del modelo**

1. La operatividad del modelo y las consideraciones precisadas obligan a la existencia de una autoridad reguladora capaz de gestionar la red de vías de altas prestaciones y, en general, la movilidad de todo el sistema de transporte de forma conjunta e integrada. Otra responsabilidad de la autoridad sería controlar la calidad del servicio ofrecido en los diferentes tramos en concesión, efectuando un seguimiento de toda la red.

2. La estructura del modelo no contempla el deterioro que sufre la carpeta de rodamiento producido por la descarga de los ejes vehiculares.

### 2.3.3.9. Estructura del modelo de Vergara C.

Las circunstancias anteriores han permitido al autor obtener un modelo tarifario con la característica exclusiva y esencial de equilibrar cada uno de los términos involucrados. Dicho modelo literalmente se puede expresar así:

“La inversión que ineludiblemente debe de estar en función de la calidad de la infraestructura y que realiza el concesionario + la suma de los costos de mantenimiento y explotación de la misma que son función del tráfico y del nivel de calidad de la infraestructura + la suma de los beneficios que recibe el operador será igual a la suma de las tarifas óptimas y sombra que están en función del nivel de calidad de la infraestructura”. Matemáticamente el modelo de Vergara se formula como lo refiere [2.1]

### 2.3.3.10. Observaciones intrínsecas al modelo

El operador participa con la inversión ( $I_o$ ) para iniciar los trabajos de la infraestructura. Esto se refiere a la aportación de recursos económicos directos destinados a la construcción de la autopista. La obra exige un determinado nivel de calidad ( $Q^o$ ); estos requisitos mínimos establecidos en las normas y especificaciones técnicas de construcción garantizan la durabilidad y funcionalidad del proyecto para satisfacer al usuario por el “pago por uso”. Se pueden precisar las siguientes observaciones:

1. La administración y el operador garantizan la existencia de los recursos para cubrir los costos de mantenimiento y operación ( $\sum_{j=1}^T (m_j, Q^o)$ ), de la infraestructura. Estos costos, llamados formalmente costos variables, están en función del tráfico y del nivel de la calidad de los trabajos de mantenimiento.
2. El tercer término de [2.1] corresponde a los beneficios ( $\sum_{j=1}^T B_j^o$ ). En esta parte de la ecuación, el inversor tiene derecho a adquirir tales beneficios económicos por la aportación de su capital.

Para la presencia del equilibrio financiero se requieren las siguientes condiciones:

- a) El usuario debe pagar un peaje,  $[\sum_{j=1}^T (\tau_j + \sigma)q_j]$ , por un servicio recibido.
- b) El término ( $\tau_j$ ) es el peaje mínimo (tasa por uso) y debe ser suficiente para cubrir los gastos de mantenimiento y operación.
- c) Finalmente, el término ( $\sigma$ ) es un ( $Pe$ ) sombra que aporta el gobierno y que se aplicaría solamente en los casos de desequilibrio financiero, es decir, cuando no se generen los excedentes o ingresos netos.

### 2.3.3.11. Alcances de las variables

El modelo propuesto resulta apropiado para infraestructuras viales que están en régimen concesionario o para aquellas que se inician en este tipo de esquemas. La calidad del modelo refiere que la ( $TC$ ) se puede definir considerando otras variables como: 1) En la medida que se incrementan las prestaciones

de la autopista; 2) El ( $PE$ ) también podrá incrementarse cuando las prestaciones de la vía alterna se reduzcan.

### 2.3.3.12. Limitantes de las variables

La aplicación del modelo de Vergara trae consigo: a) Vigilar en qué momento se presentaría el desequilibrio financiero; b) Derivado del punto anterior, en que instante se aplicaría el ( $PE$ ) sombra por parte del gobierno; c) Existe un tiempo ( $T$ ) de concesión que está conformado por un tiempo inicial ( $T_o$ ) de la concesión -para esta condición la tarifa de cuota y el peaje sombra serían muy elevados-; d) La inversión ( $I_o$ ) del proyecto no es definitiva por existir obras extraordinarias que incrementan los costos directos; e) Debe de existir un apartado que contemple los índices de inflación; f) El modelo no precisa, para los tiempos de concesión, los volúmenes del tránsito que permitan definir el ( $PE$ ); y g) Derivado del punto anterior, dicho modelo interpreta un ( $PE$ ) general. Es decir, en la sección 2.2.3., se ha discutido que existen diferentes categorías vehiculares y, en consecuencia, diferentes pagos de la ( $TC$ ).

### 2.3.3.13. Adaptación particular del modelo de Vergara C.

Tratándose de un modelo conveniente para esquemas concesionarios en que las empresas aportan los recursos económicos de inversión, operación y mantenimiento a la infraestructura, el modelo propuesto por Vergara C., se puede adecuar para autopistas rentables, es decir, aquellas que se han consolidado en relación con sus ingresos y volúmenes de tráfico.

### 2.3.3.14. Elementos para adaptar el modelo

Para conformar el arreglo se utilizará [2.1] en que se propone suprimir los términos: a) Inversión del operador [ $I(Q^o)$ ], b) Beneficios para el operador [ $\sum_{j=1}^T B_j^o$ ]; y c) El peaje sombra  $\sigma$  (subsidio que la administración plantea a fin de equilibrar cuando no se generen los excedentes esperados correspondiente a los beneficios para el operador). La supresión de estos tres términos origina el siguiente arreglo matemático:

$$\sum_{j=1}^T m_j(q_j, Q^o) = \sum_{j=1}^T \tau(q_j) \quad [2.3]$$

En [2.3] se indica que la suma de los costos de mantenimiento y operación deben ser iguales a la suma de los peajes óptimos. Por otro lado, el término:  $\sum_{j=1}^T \tau(q_j)$  representa los ingresos que se perciben por el uso de la autopista por parte del usuario, por tanto [2.3] se puede reescribir de la siguiente manera:

$$\sum_{j=1}^T m_j(q_j, Q^o) = \sum_{j=1}^T \tau(q_j) = \text{Ingresos} = I_{ng} \quad [2.4]$$

En [2.4] se puede particularizar que: la suma de los costos de operación y mantenimiento que están en función del tráfico ( $q_j$ ), serán iguales a la suma de los peajes óptimos ( $I_{ng}$ ), también en función del tráfico.

En otras palabras, para que existan costos de mantenimiento y de operación, necesariamente se requiere la presencia de tráfico y, consecuentemente, el acopio de ( $PEs$ ).

### 2.3.3.15. Sustentos para la adaptación del modelo

1. El diseño de [2.4] se debe clasificar como un modelo tarifario exclusivo para aplicarse en autopistas rentables ya que incluye, justificadamente, conceptos particulares de mantenimiento y operación a los que está sujeta una autopista con ingresos asegurados a través del tiempo ( $T$ ).

2.- Por otra parte, [2.4] se puede igualar a los ( $I_{ng}$ ), puesto que la suma de peajes es:

$$(PEs) = (TC) * NV$$

Donde:

$NV$  es el número de vehículos conocido como  $TDPA$

Por lo tanto:

$$I_{ng} = (TC) * NV \quad [2.5]$$

3.- El modelo indicado en [2.5] será válido para autopistas consolidadas en sus aforos. Además en este tipo de autopistas, las inversiones en mantenimiento son garantizadas por los ( $I_{ng}$ ). El conocimiento histórico (base de datos en moneda de los costos de mantenimiento), permitiría determinar el valor del ( $PE$ ) de manera clara y sencilla.

### 2.3.3.16. Modelo de Vergara C. en zona montañosa

Si se deseará aplicar [2.4] en una infraestructura construida en zona montañosa, se tendrá que recurrir a la equivalencia de las unidades vehiculares recomendada por los manuales. En México se dispone del Manual de Capacidad Vial de la Dirección de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (p.12).

### 2.3.3.17. Representación analítica

El modelo de Vergara, algebraicamente se podrá escribir como:

$$yx = a + b + c - dx \quad [2.6]$$

Es decir, [2.6] corresponde a una función hiperbólica en que la variable  $y$  es la ( $TC$ ) a pagar por transitar en la autopista, la variable independiente  $x$ , está representada por el tráfico  $q_j$  y los parámetros  $a, b, c$  y  $d$  son, respectivamente, los costos de la inversión, los costos de operación, los

costos para el operador y el peaje sombra respectivamente. En ésta ecuación, se observa que, a medida que aumenta el tráfico, los costos de inversión y de mantenimiento, así como los beneficios para el operador, se reducen y con ello la ( $TC$ ).

### 2.3.3.18. Aplicaciones en México

La flexibilidad del modelo de Vergara C. permitirá aplicarse en la autopista México – Cuernavaca. La Tabla 2.7 describe la información relacionada con esta infraestructura así como los movimientos vehiculares de la clase A (autos). Para aplicaciones y/o ejemplos, ver Anexo L de este documento.

Año	( $TC$ ) Clase vehicular A	( $TDPA$ ) Clase vehicular A	( $I_{ng}$ ) Ingresos autos (\$)	Costos de mantenimiento (\$)	Costos de mantenimiento respecto a ingresos (\$)
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(E) / (D)
1991	17	17,063	105'875,915	17'249,280	16.29
1992	20	19,098	139'415,400	17'968,950	12.89
1993	25	19,948	182'025,500	28'911,110	15.88
1994	25	21,295	194'316,875	28'786,420	14.81
1995	30	18,607	203'746,650	35'883,860	17.61
1996	38	18,049	250'339,630	7'985,290	3.19
1997	46	17,979	301'867,410	51'449,140	17.04
1998	50	19,176	349'962,000	50'429,500	14.40
1999	60	19,469	426'371,100	56'784,080	13.32
2000	68	19,903	493'992,460	96'658,050	20.56
2001	70	22,041	563'147,550	98'850,940	17.55
2002	75	23,159	633'977,625	110'594,300	17.44
2003	75	24,332	666'088,500	127'258,960	19.10
2004	80	25,204	735'956,800	8'011,690	1.08
2005	80	26,241	766'237,200	29'818,470	3.89

Tabla 2.7. Agrupación de datos de la autopista México – Cuernavaca. Fuente: elaboración propia con información de CAPUFE.

La información que contiene la Tabla 2.7 es la siguiente:

La 1ª columna registra el año de estudio.

La 2ª columna muestra la tarifa de cuota cobrada.

La 3ª columna identifica el  $TDPA$ .

La 4ª columna indica los ( $I_{ng}$ ) provenientes del cobro de tarifas.

La 5ª columna registra los costos de mantenimiento.

La 6ª columna resulta de dividir los costos de mantenimiento entre los ingresos.

Haciendo un análisis particular de la Tabla 2.7, se ilustran otros datos y estos se proporcionan a continuación:

1. *(TDPA)* al alza de 17, 063 unidades vehiculares a 26, 241 a partir de 1991 a 2005; esto significa que, en un periodo de quince años, ha ocurrido un incremento de 153.79 %.
2. Una media del tránsito por 17,743 unidades vehiculares.
3. Ingresos a la alza de los ingresos de \$ 105´ 875, 915 a \$ 766´ 237 ,200 manifestándose una tasa de 714.26%.
4. Una media de los ingresos por \$ 400, 888, 041
5. *(TC)* a la alza de \$ 17.00 a \$ 80.00 para una tasa de 470.58 %.
6. Una media de la *(TC)* por \$ 50.60
7. Un máximo monto de costos de mantenimiento por \$ 127, 258,960 en 2003 y un mínimo por \$ 7, 985,290 en 1996.
8. Una media de los costos de mantenimiento por \$ 51, 109,336

Por otro lado, la Tabla 2.7 hace notar que los costos de mantenimiento son los que recopila la administración para todas las actividades de conservación en la infraestructura. En esa misma tabla se observa que los ( $I_{ng}$ ) en el año 2005 superaron 25.7 veces a los costos de mantenimiento.

### 2.3.3.19. Observaciones a los ejemplos de aplicación

A partir de la aplicación del modelo tarifario de Vergara C., se han propuesto cuatro ejemplos para cumplir con los términos que contiene su estructura matemática. Básicamente:

1. Toda la información utilizada es histórica y proviene de manuales y revistas de investigación.
2. En el ejemplo uno se aplicó [2.4] y se determinó la tarifa de cuota para el año 2005 en función de los costos de mantenimiento, los ingresos o sea:

$$(TC) = f(I_o, Cm)$$

Donde:

$I_o$ , es la inversión.

$Cm$ , son los costos de mantenimiento.

Para las condiciones del ejemplo, se hace la observación de que la autopista está totalmente construida.

3. El ejemplo dos contempla los costos por desgaste de la carpeta de rodamiento para determinar el peaje y el mismo criterio empleado en el ejemplo uno.

4. En el ejemplo tres se ha supuesto que el inversionista aporta su capital a la construcción de la autopista a precios reales, con la intención de recibir beneficios por intereses a capital con un rendimiento del 10%. Por tanto la obtención del peaje se determina en función de estas variables; que se puede expresar mediante:

$$(TC) = f(bi, CD)$$

Donde:

$bi$ , son los beneficios por interés.

$CD$ , son los costos de deterioro.

5. En el ejemplo cuatro, se ha considerado que el gobierno concesiona la autopista por un periodo de quince años, garantizando al concesionario un  $TDPA$  de 20, 771. La  $(TC)$  se expresa en función de las variables ya indicadas. Por tanto:

$$(TC) = f(I_o, Cm, bi)$$

### 2.3.4. Modelo tarifario de Bonifaz J., et al, (2001)

Estructura matemática:

$$Peaje = Tarifa * (Tipo de cambio) * \left[ \frac{CPI_2}{CPI_1} \right] \quad [2.7]$$

Donde:

$Peaje$ , es el  $(PE)$  a cobrar en soles.

$Tarifa$ , es igual a US \$2.00 por cada 100 km., es considerada como aquella que se cobra por vehículo ligero o por eje de vehículo pesado, y se calcula para enfrentar los costos de mantenimiento (rutinario, periódico, control de pesos y rehabilitación al final del periodo de vida útil).

$Tipo.de.cambio$ , es él  $(TIC)$ , se refiere al promedio equivalente de conversión de monedas del sistema financiero establecido por la Superintendencia de Banca de Seguros y publicado en el Diario oficial "El Peruano", actualmente un dólar equivale a 3.2 Soles.

$\frac{CPI_2}{CPI_1}$ , es un término que expresa los índices de precios al consumidor (todos los rubros).  $CPI_1$ , es publicado por el Departamento de Comercio de los Estados Unidos de América para el mes en el cual la concesión fue otorgada, y  $CPI_2$ , es índice, pero corresponde a los dos meses anteriores al ajuste del peaje. De acuerdo con las propuestas anteriores [2.7] se puede escribir como:

$$(PE) = (Tarifa) * (TIC) * \frac{CPI_2}{CPI_1} \quad [2.7^1]$$

El modelo definido por Bonifaz J., et al., (2001) por sus características pone de manifiesto la opción de aplicarse en autopistas concesionadas.

#### 2.3.4.1. Teoría de apoyo del modelo

La fuerte inestabilidad cambiaria de los países obliga al empleo de ciertos determinantes macroeconómicos, como se señala en [2.5]. Dicho modelo se sustenta en la teoría macroeconómica con la utilización de variables macroeconómicas en la estructura principal de la ecuación. La presentación matemática del modelo de Bonifaz J. reduce los riesgos de volatilidad, inestabilidad, iliquidez o insolvencia de un país con debilidades en su moneda y se produzcan las rentabilidades esperadas por parte del inversionista.

#### 2.3.4.2. Índice de precios al consumidor $\frac{CPI_2}{CPI_1}$

Con el fin de cuantificar la variación de los (*PEs*) a través del tiempo, el modelo de Bonifaz J. recurre a los índices de precios al consumidor (indicador oficial para medir la inflación en los países). Siendo necesario estimar el crecimiento del precio del servicio ofrecido por las autopistas y se tenga la certeza de estabilizar el (*PE*) a precio real.

#### 2.3.4.3. Tipo de cambio (*TIC*)

La existencia del riesgo de la moneda es la mayor preocupación de los inversionistas extranjeros cuando aportan su capital en economías débiles de América Latina. En estas condiciones los proyectos carreteros de (*PE*), financiados con capital extranjero, deben pagar el capital (retorno a la moneda extranjera), mediante la conversión a los índices de cambio esperado. Para ello, se utiliza el (*TIC*) que es un indicador macroeconómico establecido por ley en los compromisos políticos y financieros en el que se adopta la dolarización (moneda extranjera) como medio de cambio y unidad de cuenta para reducir el riesgo cambiario de la moneda interna.

#### 2.3.4.4. Entorno del modelo

Este modelo alternativo, se ajusta a situaciones exclusivas y conduce a la obtención de (*PEs*) en infraestructuras viales concesionadas principalmente en la república del Perú. En forma general el modelo integra conceptos de la Teoría Económica como el tipo de cambio, índices de precios al consumidor y el impuesto general de ventas.

#### 2.3.4.5. Objetivo del modelo

Utilizar por parte de la administración un modelo tarifario estrictamente financiero para conseguir los recursos merecedores del concesionario por la participación de su capital, con la práctica de variables macroeconómicas.

#### 2.3.4.6. Fortalezas del modelo

- 1) El modelo presenta una estructura general, esto significa su aplicación en los países que se rigen por el sistema de concesiones de autopistas. Básicamente, en cada país los términos económicos: tipo de cambio e impuestos a las ventas existen y difieren por las condiciones impuestas por la economía del medio. Con este enfoque, los datos permitirían fácilmente la determinación de los (*PEs*) con la aplicación del modelo y la sustitución de la información.
- 2) Los datos que requiere el modelo se disponen en forma inmediata ya que cada país lleva un registro estadístico en forma diaria, mensual, trimestral, semestral y anual de sus comportamientos económicos.
- 3) Los gravámenes del gobierno están asegurados ya que los peajes calculados contemplan la aplicación del impuesto.

### 2.3.4.7. Debilidades del modelo

- 1) La aplicación del modelo en países con inflaciones altas, el costo del ( $PE$ ) por el derecho de transitar en autopistas, también resulta elevado.
- 2) Los resultados del ( $PE$ ) están influenciados por una moneda extranjera (dólares).
- 3) La estructura del modelo no contempla el volumen del tráfico.
- 4) El desconocimiento del volumen de tránsito en dicho modelo equivale a no considerar el deterioro provocado por el flujo vehicular en el pavimento de la carretera.
- 5) El ( $PE$ ) calculado mediante dicho modelo, no se asigna a un vehículo específico (automóvil, camión y/o autobús).

### 2.3.4.8. Variables que utiliza el modelo de Bonifaz J.

De acuerdo con las variables que maneja el modelo, este se puede expresar como:

El ( $PE$ ) por cobrar en una autopista de cuota debe ser igual a una ( $TC$ ) afectada por él ( $TIC$ ) y por un índice global de precios al consumidor. Lo anterior se puede enunciar matemáticamente como lo refiere [2.7].

### 2.3.4.9. Observaciones internas al modelo de Bonifaz J.

Para garantizar la recuperación de las inversiones a través de los peajes, enfrentar y garantizar el mantenimiento adecuado de las carreteras en ese país, se recurre a una ( $TC$ ) inicial = US\$ 1.20, 1.60, 2.00 para los primeros 100 km). Bonifaz J., *et al.*, (2001), consideran que el valor inicial de US\$ 1.20 se debe de aplicar al inicio de la concesión de la autopista, el valor de US\$ 1.60 en el segundo año de construcción y el valor US\$ 2.00 se aplicaría para el inicio de otros tamos de la misma ruta.

Otro dato importante que utiliza el modelo, compete al ( $TIC$ ) (tercer término de la ecuación), que rige en el país y que en estos casos es de 3.2 Soles por dólar, según lo establece La Superintendencia de Banca de Seguros y publicado en el Diario Oficial “El Peruano”.

El término  $CPI$ , describe los índices al consumidor en etapas distintas:  $CPI_1$ , es aquel relacionado con la fecha en la que fue otorgada la concesión y  $CPI_2$ , se aplica dos meses anteriores a la fecha de ajuste de la tarifa. Estas restricciones a los parámetros se imponen para asegurar que el peaje obtenido sea estrictamente en términos de moneda extranjera (dólares) y de esta manera cerciorar al concesionario las condiciones de participar como administrador de los proyectos.

Con las variables descritas, es suficiente para la ilustración del modelo de Bonifaz J., sin embargo para que el gobierno disponga de los impuestos (Impuestos Generales de Venta), estos se asegurarán operando [2.7] por 1.19 que representa el valor del impuesto aplicado en el país.

En condiciones de producirse una devaluación de más del 10% desde la última revisión ordinaria, se procedería a realizar una revisión extraordinaria que incorpore dicha devaluación a la tarifa permitida.

### 2.3.4.10. Fortalezas de las variables

Las variables que emplea el modelo, están relacionadas con términos económicos que son vigilados por la autoridad correspondiente y están registrados en la Base de Datos. Los conceptos afines con las

mencionadas variables consideran los efectos de inflación, establecidos en los Índices de Precios al Consumidor (indicador del poder adquisitivo de la moneda).

1. El primer término (*PE*) de [2.7], es el valor a pagar por el usuario y está en función de las variables descritas, en este caso son: tarifa de cuota, tipo de cambio e índice de precios al consumidor.
2. El segundo término tarifa inicial, es una variable que está en función de los costos de mantenimiento, los cuales son necesarios para el adecuado funcionamiento de la autopista. Esta variable es requerida para la operatividad del modelo.

#### **2.3.4.11. Limitantes de las variables**

1. La variable tarifa inicial está expresada en dólares. Por lo tanto al existir volatilidad de la moneda, el peaje por cobrar también se dispara. Conviene la observación de este término para evitar peajes elevados.
2. El tipo de cambio (*TIC*) es otra variable sujeta a cambios inmediatos por la existencia de variaciones en la paridad de la moneda interna respecto a las extranjeras.
3. Los términos  $\frac{CPI_2}{CPI_1}$ , son índices que maneja el país de Estados Unidos, donde la Canasta Básica difiere significativamente con la aplicada en el país de origen.

#### **2.3.4.12. Arreglo particular en el modelo de Bonifaz J.**

Tratándose de un modelo adecuado para autopistas concesionadas, [2.7], se puede adaptar de acuerdo con las siguientes consideraciones: Los términos *Tarifa* y (*TIC*) expresados en moneda extranjera (dólares), se pueden convertir a otro tipo de divisa por ejemplo a pesos mexicanos. Esto permitiría reescribir [2.7] de la siguiente manera:

$$Pe = \left[ Tarifa * \frac{INPC_2}{INPC_1} \right] \quad [2.8]$$

[2.8] se puede mencionar como Ecuación General de Bonifaz J.

Donde:

*Tarifa*, es el valor inicial de la tarifa a cobrar para enfrentar los costos variables (expresada en moneda local).

*INPC<sub>2</sub>*, es el índice nacional de precios al consumidor dos meses anteriores a la fecha de ajuste.

*INPC<sub>1</sub>*, es el índice nacional de precios al consumidor en el mes que fue otorgada la concesión.

El *INPC* es utilizado en México. [2.8] también se puede adaptar y con posibilidades de aplicarse en países que emplean el sistema de concesión privada a las autopistas.

#### **2.3.4.13. Autopistas rentables**

Para el caso particular de autopistas rentables, el término (*INPC<sub>1</sub>*) indicado en [2.8] no se aplicaría en consecuencia se tendría el arreglo siguiente:

$$Peaje = [Tarifa * INPC_2] \quad [2.9]$$

Con el modelo descrito en [2.7] y aplicado en la república de Perú, se obtiene el (*PE*) considerando el servicio recibido en función del índice de precios al consumidor como una variable que mide el promedio ponderado de los bienes consumidos por las familias, los cuales fácilmente se relacionan a otros precios de un periodo con los precios de otro periodo (usualmente estos últimos precios siempre serán mayores por el fenómeno inflacionario), por lo tanto el cobro del (*PE*) siempre será mayor. Esto significa que a medida que se mueve el índice de precios al consumidor también varía la tarifa. Es usual que los índices de precios se incrementen por las condiciones económicas de cada país y se refleje en la (*TC*).

Analíticamente [2.7] corresponde con la ecuación de la recta que pasa por el origen, cuya representación es:

$$y = a(x) \quad [2.10]$$

Donde:

*y*, es el peaje o cuota y se expresa como la variable dependiente.

*x*, adopta los términos:  $\frac{CPI_2}{CPI_1}$

*a* = *Tarifa* \* (*TIC*), y representa la pendiente de la recta.

#### 2.3.4.14. Aplicación del modelo de Bonifaz J.

Se aplica el modelo de Bonifaz a casos particulares en México. Ver ejemplos en Anexo M de este documento.

En el caso de la república del Perú, el mecanismo que grava los artículos y servicios es el Impuesto General de Ventas (IGV). En México se dispone del (*IVA*). Por lo tanto, al intercambiar dicho término en la ecuación [2.7] se obtiene:

$$Peaje = \left[ Tarifa * \left( \frac{CPI_2}{CPI_1} \right) * IVA \right] \quad [2.11]$$

Para un caso particular, la Tabla 2.8 contiene los índices de precios al consumidor de México. De acuerdo con el Banco de México (2010), este término es un indicador económico diseñado específicamente para medir el cambio promedio de los precios en el tiempo, mediante una canasta ponderada de bienes y servicios representativa del consumo de las familias urbanas de México. Se observa que el (*INPC*) ha variado fuertemente desde 1980 hasta el año 2006 de 0.090 a 121.015 respectivamente.

Año	<i>INPC</i>	Año	<i>INPC</i>
1980	0.0900	1993	26.7212
1981	0.1227	1994	28.6055
1982	0.1579	1995	43.4706
1983	0.3140	1996	55.5141
1984	0.5676	1997	64.2400
1985	0.9434	1998	76.1946
1986	1.4793	1999	85.5872
1987	3.0435	2000	93.2482
1988	7.8879	2001	97.3548
1989	11.9627	2002	102.9000
1990	14.3190	2003	106.9900
1991	18.6046	2004	112.5500
1992	22.1013	2005	116.3010
		2006	121.015

Tabla 2.8. Índice de Precios al Consumidor. Fuente: elaboración propia con información del Banco de México.

### 2.3.4.15. Observaciones a los ejemplos de aplicación

De acuerdo con el Anexo M, se han propuesto dos ejemplos, el primero toma en cuenta valores de los índices de precios al consumidor que se aplican a la economía mexicana. El segundo, utiliza una tarifa aplicada en Perú (en dólares) convertida a moneda mexicana.

### 2.3.5. Modelo tarifario de Hun H., et al, (2000)

Este modelo tarifario se apoya cuantitativamente en los costos de inversión para la construcción y en costos de mantenimiento de la infraestructura. A continuación se desglosa su arreglo matemático.

#### 2.3.5.1. Estructura matemática

Como se vio en las Tablas 2.1 y 2.2, la estructura principal del modelo está fundada en dos secciones. Cada una de éstas se refiere al cobro de tarifas en las siguientes condiciones: una *Tarifa Base* que toma en cuenta la inversión de la cuenta pública a recuperar (*CUPUR*), el número de vehículos que usan la autopista en ese periodo (*VEPER*) y otra sección que considera la *Tarifa Variable* en función de los costos variables realizados en un año (*COVAA*) con las millas recorrida por los vehículos durante un año (*MILLARA*). Estas consideraciones se pueden representar como:

$$Tarifa\ Base = \frac{CUPUR}{VEPER} \quad [2.12]$$

$$\text{Tarifa Variable} = \frac{\text{COVAA}}{\text{MILLARA}} \quad [2.13]$$

Ambos planteamientos sugieren los pagos de una *Tarifa Base* y una complementaria denominada *Tarifa Variable* para enfrentar los costos de inversión para la construcción de la vialidad y para cumplir con los costos de mantenimiento respectivamente.

### 2.3.5.2. Objetivo del modelo

Recurrir a un modelo para la aplicación de la (*TC*) en dos componentes. Una, se aplicaría para recuperar la inversión en el mantenimiento y la otra para saldar la cuenta total pública por el empleo de capital en la construcción de la infraestructura.

### 2.3.5.3. Teoría del modelo

El replanteamiento de [2.12] y [2.13], se pueden indicar de la siguiente manera:

$$Y_1 = \frac{K_1}{X_1} \quad [2.14]$$

$$Y_2 = \frac{K_2}{X_2} \quad [2.15]$$

Donde:

El numerador de [2.14], representa el dato relacionado con el valor de la cuenta pública y el numerador de [2.15] es el total de los costos variables. Ambas ecuaciones, se ajustan perfectamente en la teoría de las inversiones con entidades extranjeras. Es decir, La cuenta pública que maneja Hun H. en su modelo tarifario es aquella contraída por la administración central cuando invita a las empresas concesionarias a participar con sus inversiones en los proyectos carreteros. Todo esto genera un ambiente denominado actividad económica en el que, se involucran situaciones complejas como consecuencia de los compromisos contraídos con bancos extranjeros.

### 2.3.5.4. Inversión extranjera directa

La define el Fondo Monetario Internacional como: "La inversión cuyo objeto sea adquirir una participación permanente y efectiva en la construcción, operación y mantenimiento de un proyecto carretero en el plazo establecido en el contrato de concesión. Las condiciones impuestas originan una deuda que en economías abiertas y modernas se basan en compromisos a corto o largo plazo que contraen el estado, estas deudas se obtienen en diversas formas de crédito; por lo general, quedan legalmente registradas mediante el uso de instrumentos mercantiles específicos".

Muchos países en desarrollo necesitados de capital para sus proyectos concretan grandes deudas externas y, aplican, diversos mecanismos para reestructurarlas con la búsqueda de formas para garantizar su pago. Conviene que los compromisos de esta índole se dirijan a proyectos rentables y de corta maduración para que, se produzcan resultados optimistas y por si mismos abonen su cuenta.

Los efectos de la deuda externa contraída con entidades o personas del exterior y que, generalmente está denominada en moneda extranjera, son intensos ya que generará pagos por capital e intereses de las deudas externas (costo financiero de la deuda externa) e implican una salida de divisas y un aumento de la cuenta de los egresos de la balanza de pagos.

### 2.3.5.5. Entorno del modelo

El modelo de Hun H., *et al.*, (2000) encaja perfectamente en la teoría financiera para recuperar la inversión ( $I_o$ ) y se generaliza adecuadamente al caso de autopistas concesionadas. Sus características son fáciles de obtener y definir a partir de las condiciones que imponga el esquema.

Las consideraciones anteriores se pueden interpretar como: los costos que genera la construcción, operación y mantenimiento de una autopista se deben de repartir en la composición vehicular que transita sobre ella. Esto conlleva la utilización de dos principios fundamentales: a) El gobierno tiene la obligación de proveer un servicio a través de una autopista; y b) El cobro de ( $PEs$ ) en las autopistas es otra obligación del gobierno para no caer en el cobro de impuestos hacendarios para cubrir la deuda de todos los costos que se incurren por la construcción, operación y mantenimiento de una autopista.

### 2.3.5.6. Alcances del modelo

Se requiere un plan de inversión que contemple la construcción de nuevas autopistas, la expansión y/o el mantenimiento de las existentes, con la posibilidad de modelar la tarifa en dos componentes:

- 1) *Tarifa Base*, es esta tarifa que se destina a todos los usuarios indiferentes, y se requiere para recobrar la porción de la inversión fija. Estos costos son de construcción, incluyendo el desarrollo, expansión y mejoramiento de los caminos.
- 2) *Tarifa Variable*, se aplica en proporción a los usuarios de la misma, y permite recobrar la fracción de los costos variables (costos de mantenimiento), costos de venta, gastos de administración general y el rendimiento de la inversión.
- 3) La aplicación de los términos anteriores sugiere un periodo de aplicación de peajes de 30 años, considerado como el tiempo suficiente para rembolsar los costos relevantes de la inversión.

### 2.3.5.7. Debilidades del modelo

1. El planteamiento conformado por [2.14] y [2.15], se complementa con el uso de un modelo de pronóstico vehicular:

$$V(veh - Km) = e^a T^{b1} P^{b2} N^{b3} C^{b4} \quad [2.16]$$

Donde:

- $V$ , es la demanda de tráfico (Veh - km).
- $T$ , es el peaje cobrado por circular en la autopista.
- $P$ , son los precios del combustible.
- $N$ , el número de vehículos que circulan en la autopista.
- $C$ , es la capacidad de la autopista.
- $e = 2.718282$

La demanda de tráfico involucrada en [2.16] incide en los resultados cuando se utilizan [2.14] y [2.15]. Si las predicciones del tráfico son satisfactorias, la recepción de las tarifas también será favorable.

### 2.3.5.8. Fortalezas de las variables

De acuerdo con [2.14] y [2.15],  $K_1$ , representa el dato relacionado al valor de la cuenta pública, y  $K_2$ , es el total de los costos variables respectivamente. Esta información no genera complicaciones a las ecuaciones por ser datos históricos y registrados en la Base de Datos.

### 2.3.5.9. Debilidades de las variables

En el caso de [2.14], la variable  $X_1$ , es el número de vehículos que transitan por la autopista durante el periodo de recuperación y que pueden variar por las condiciones del cobro. En otras palabras, si el ( $PE$ ) no es atractivo para el usuario, el número de vehículos se reduce y habría inconsistencia en el modelo.

Por otro lado, en [2.15], la variable  $X_2$ , es el total de las millas recorridas por los vehículos en un año. Este dato está en función del total de vehículos que transitan por la autopista y también dependen de costo del ( $PE$ ).

### 2.3.5.10. Adaptación particular del modelo de Hun H.

[2.14] y [2.15], se pueden particularizar para autopistas rentables y más aún, cuando la construcción del proyecto carretero se realiza en zonas montañosas. En estas condiciones el comportamiento vehicular es diferente cuando la autopista se construye en terreno plano o lomerío. Esto significa aplicar la equivalencia vehicular como lo refieren los manuales disponibles en la administración central.

Por tanto de [2.14], si  $X_1$  representa el número de vehículos que transitan por la autopista y considerando que la composición vehicular comprende nueve categorías vehiculares: A, B2, B3, B4, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, estas se puede convertir a vehículos equivalentes como lo proponen los manuales y determinar la tarifa para vehículos equivalentes. O sea:

$$Y_1 = Tarifa_{vehículo\text{equivalentes}} = \frac{K_1}{X_{vehículo\text{equivalentes}}} \quad [2.17]$$

Utilizando ahora [2.15], donde  $X_2 = \text{No. de millas recorridas por los vehículos} = (\# \text{ millas recorridas por el total de vehículos})$ . De igual forma, estas categorías vehiculares, se podrán transformar a vehículos equivalentes. Por lo tanto queda de la siguiente manera:

$$Y_2 = Tarifa_{vehículo\text{equivalentes}} = \frac{K_2}{\# \text{ Millas}} * TOTAL_{vehículo\text{equivalentes}} \quad [2.18]$$

### 2.3.5.11. Casos de aplicación en Korea

1. La ( $TC$ ) en su estructura particular contrasta con la composición del parque vehicular.

2. Para cada unidad vehicular, se ha conformado un nivel de tarifas como lo refiere al Tabla 2.9. Los valores de la *Tarifa.Base* y la *Tarifa.Variable* se muestran para los diferentes tipos de vehículos.

Categoría vehicular	1	2	3	4	5
Peso por categoría	1.00	1.05	1.08	1.86	1.90
<i>Tarifa.Base</i> (won)	700.00	736.00	756.00	1, 303.00	1, 330.00
<i>Tarifa.Variable</i> (won)	36.50	38.40	39.40	68.00	69.30

Tabla 2.9. Nivel de tarifas por categoría vehicular. Fuente: Hun H. An Application of Two – Part Tariff Pricing to Expressway: A case of Korea. (2000).

Un análisis de la Tabla 2.9, muestra que existen diferentes valores de la *Tarifa.Base* superior por categoría de vehículo, esto significa que el vehículo de la categoría uno, es más ligero que el de las categorías dos, tres, cuatro y cinco, por tanto debe pagar menos que los restantes. Actualmente un dólar equivale a 2,200 Won en el norte y a 1,150 Won en el sur de Korea.

### 2.3.5.12. Aplicación del modelo de Hun H.

En el Anexo N de este documento, se aplica el modelo de Hun H. a casos particulares de México. Para ello se utilizará la información descrita en (ejemplo tres resuelto con el modelo de Vergara del Anexo L), donde se reproducen algunos datos relacionados con la autopista México – Cuernavaca

### 2.3.5.13. Observaciones a los ejemplos de aplicación

De acuerdo con las variables que se utilizan en el modelo de Hun H. se han propuesto exclusivamente dos ejemplos ya que ambos involucran los costos de inversión y los costos de mantenimiento. De esta manera se cumplen los requisitos de [2.14] y [2.15], en cada ejemplo, el (*TDPA*) es el mismo valor para el año 2005.

### 2.3.6. Modelo tarifario de Rico A., et al, (1995)

Estructura general del modelo. A continuación, se presenta el modelo de Rico A., et al., (1995) ajustado a seis ecuaciones:

$$Fr(i) = \frac{1}{1 + e^{[1.2+0.03(Ci+Tj-Cj)]}} \quad [2.19]$$

$$VCi = \frac{VCod}{1 + e^{[1.2+0.03(Ci+Tj-Cj)]}} \quad [2.20]$$

$$Ii = \frac{VCod(Ti - DETi)}{1 + e^{[1.2+0.03(Ci+Ti-Cj)]}} \quad [2.21]$$

$$DETi = 0.1Li * NEEK \quad [2.22]$$

$$[0.03(Ti - DETi) - 1]e^{[1.2+0.03(Ci+Ti-Cj)]} = 1 \quad [2.23]$$

$$TC_2 = \frac{T_i}{\sum' fk * Tk} \quad [2.24]$$

Donde:

$Fr(i)$ , es la fracción de vehículos que circulan por la autopista de cuota.

$T_j$ , es la tarifa promedio cobrada.

$C_i$  y  $C_j$ , son los costos incurridos por los vehículos que transitan por la autopista y por la alterna.

$VC_i$ , es el flujo diario de los vehículos que toman la alternativa  $i$ .

$VC_{od}$ , es el flujo diario con OD en ambos sentidos.

$I_i$ , es el flujo diario de ingreso neto, descontando el daño a la infraestructura.

$DET_i$ , es el costo de deterioro promedio causado por los vehículos.

$NEE_k$ , es el número de ejes equivalentes que representa el vehículo tipo  $k$ .

$e = 2.718282$ .

$L_i$ , es la longitud del tramo

$fk$ , es la fracción  $k$  vehicular.

$Tk$ , es la tarifa relativa.

$TC_2$ , es la tarifa óptima.

### 2.3.6.1. Objetivo del modelo

Emplear un modelo tarifario en autopistas poco conformadas en sus aforos e ingresos, específicamente en aquellas concesionadas para que las empresas maximicen sus ingresos por la aportación de su capital.

### 2.3.6.2. Teoría del modelo

Los criterios de Rico A. están respaldados por la teoría de costos. Socialmente, la cuota óptima sería aquella que hiciera mínimos los costos operativos del transporte, considerando estos como de mantenimiento y otros costos actuantes (costos financieros, administrativos, operativos), o sea aquellos que emanan del capital invertido en la construcción de la autopista.

Se demuestra en este modelo tarifario que una autopista con una carpeta de rodamiento en excelente estado superficial proporciona costos de operación vehicular ( $COV_s$ ) menores a los de una carretera alterna. Lo anterior, pone de manifiesto que los ( $COV_s$ ) reflejan mayores beneficios al usuario de una autopista cuando esta dispone de una carpeta con acabados superficiales en buen estado. Para cuantificar un buen estado superficial se recurre al Índice de Rugosidad Internacional (IRI). En el caso de una carretera alterna los valores del IRI son mayores por las condiciones escasas de mantenimiento.

Por otra parte, el modelo integra otra variable a esta teoría y corresponde al costo del deterioro ( $CD$ ) causado por los vehículos que transitan en ambas infraestructuras. Es obvio que la existencia de tránsitos elevados se deriva en un mayor deterioro a la carpeta e invariablemente mayor costo de deterioro.

De esta manera, durante el proceso de cálculo de la  $(TC)$ , se cuantifican los costos intervenidos en la construcción operación y mantenimiento de la infraestructura para la propuesta del modelo descrito.

### 2.3.6.3. Entorno

Son dos criterios básicos en los que se apoya el modelo: a) Para las empresas concesionarias, la cuota óptima será la que concilie el mayor valor monetario a pagar con el mayor número de vehículos dispuestos a pagarlo. En otras palabras, la empresa conservadora y operadora de una autopista busca hacer máximos sus ingresos; y b) Desde el punto de vista de la nación, la cuota ideal será la que haga mínimos los costos operativos del transporte, considerando los costos de mantenimiento y los demás costos actuantes.

### 2.3.6.4. Fortalezas del modelo

El atractivo principal del modelo de Rico A. es que reúne las condiciones para ser aplicado con eficiencia en los esquemas de autopistas concesionadas con aforos poco arraigados.

### 2.3.6.5. Debilidades del modelo

1. Para determinar la  $(TC)$ , este esquema involucra seis ecuaciones que a su vez incluyen catorce variables relacionadas entre sí. Esto significa un proceso más elaborado y preciso desde el punto de vista matemático.
2. Quizá lo marcado en el punto anterior no ha permitido la utilización práctica y eficiencia del modelo.
3. Como se advertirá en el ejemplo propuesto a mayor tránsito vehicular la tarifa de cuota resulta más elevada.
4. El modelo no sigue la ley de la Demanda. “A mayor cantidad menor precio”. En cambio mantiene características de la Ley de la Oferta. “A mayor cantidad mayor precio”.

### 2.3.6.6. Estructura interna del modelo

Este modelo tiene la ventaja de permitir la obtención de la tarifa de cuota para un vehículo de carga C2 de dos ejes, sencillo el delantero y dual el trasero. Conocido este valor y con la idea de calcular las tarifas para otros arreglos vehiculares, se puede aplicar la siguiente relación:

$$2(\text{cuota autos}) + 7 (\text{valor asignado a un eje}) = \text{Tarifa de un T3S2R4} \quad [2.25]$$

Un *T3S2R4* es un camión de carga doblemente articulado con tractor de tres ejes y dos remolques, el primero con eje tándem trasero y el segundo con ejes en tándem, uno delantero y otro trasero). En [2.24] se observa que se puede asignar un valor al eje y una cuota fija al automóvil que usualmente es igual al valor del eje o el doble de esa cantidad.

### 2.3.6.7. Variables que utiliza el modelo

La ecuación [2.19], maneja una variable principal  $Fr(i)$  referida a la fracción del tráfico que se dirige a una autopista de cuota,  $k_1$  y  $k_2$  son constantes de ajuste,  $C_i$  y  $C_j$  son los costos de operación de la autopista de cuota y de la alternativa,  $T_i$  y  $T_j$  son valores de la tarifa por transitar en las dos vías. Es razonable que  $T_j = 0$ .

Por otro lado, [2.20], emplea las variables relacionadas con el flujo diario total de vehículos de carga con origen – destino  $VC_i$  y de vehículos de carga que tomarán la autopista. Se adiciona [2.21] al modelo, con el uso de la variable  $I_i$  que representa el flujo diario de ingreso neto total del tramo de cuota y,  $DET_{ik}$  es el costo del deterioro causado por el vehículo  $k$  cuando circula por la autopista. Esta variable está íntimamente relacionada con otras dos variables  $L_i$  que es la longitud del tramo de cuota y  $NEE_k$  que corresponde al número de ejes equivalentes que dispone el vehículo  $k$ . Las últimas dos variables conforman la ecuación [2.22] y permite determinar el costo del deterioro; la ecuación [2.23], relaciona la variable importante del modelo  $T_j$  cuyo valor se debe estimar. Finalmente [2.24], dispone de la fracción  $k$  vehicular y la tarifa relativa  $Tk$ .

### 2.3.6.8. Fortalezas de las variables

- 1) Para autopistas con mediciones de aforos, el cálculo de  $Fr(i)$  ya no es requerido puesto que el  $TDPA$  resulta de las mediciones.
- 2) Los costos de operación  $C_i$  y  $C_j$  están disponibles en los manuales.
- 3) Los valores de  $VC_i, VC_{od}, I_i, L_i, NEE_k$ , del mismo modo están disponibles en los manuales.

### 2.3.6.9. Limitantes de las variables

- 1)  $Fr(i)$  deberá calcularse cuando en autopistas con aforos poco arraigados no se realice la medición del flujo.
- 2) Derivado del inciso anterior, se tiene en consecuencia que las restantes variables dependan de  $Fr(i)$ .
- 3) Efectuar la búsqueda de valores en los manuales resultaría en algunos casos infructuosa o se realice a largo plazo de: a) Flujo vehicular; b) Costos de operación vehicular; c) Equivalencia de ejes; d) Tarifa relativa); y e) Longitud de tramos.

### 2.3.6.10. Ejemplo de un caso particular

Para aplicación del modelo, ver Anexo P de este documento.

### 2.3.6.11. Observaciones al ejemplo de aplicación

De acuerdo con los resultados finales del ejemplo dado en el Anexo P; la estructura matemática del modelo de Rico A., propone, se empleen datos exclusivamente de la autopista México – Cuernavaca y por tanto únicamente se puede proponer un ejemplo. Es decir, en el proceso de cálculo de la tarifa, cada variable obtenida depende de otra variable. Por lo tanto, no se puede prescindir de alguna de ellas.

### 2.3.7. El modelo tarifario utilizado en México

El modelo aplicado en México, está relacionado con el tipo de administración destinada en cada una de las autopistas. La red de autopistas de la república mexicana está a cargo de diferentes manejos administrativos como se describe en la Tabla 2.10. Aquí se observa que el Fideicomiso de Apoyo para el Rescate de Autopistas de Cuota (FARAC) administra el mayor volumen de autopistas con una longitud de 3, 721.40 km representado por 72.40%, le sigue la red propia de CAPUFE con 976.50 km de longitud (19%) y finalmente la red de concesionarios con 441.00 km de longitud que representa 8.60%.

No.	Red de autopistas	Longitud (km)	Porcentaje (%)
1	CAPUFE (red propia)	976.50	19.00
2	Contratada por CAPUFE a concesionarios	441.00	8.60
3	Fideicomiso de Apoyo para el Rescate de Autopistas de Cuota (FARAC)	3, 721.40	72.40
<b>Total</b>		<b>5, 138.90</b>	<b>100.00</b>

Tabla 2.10. Administración de redes de Autopistas. Fuente: elaboración propia con información de “Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública (2004). Análisis de las tarifas fijas para el uso de carreteras de peaje (autopistas) en México”, México.

Básicamente, el modelo tarifario empleado es idéntico para toda la red. De manera general, el modelo se ha diseñado específicamente para utilizarlo en las administraciones locales y con ello actualizar la (TC). Esto se hace, debido a que las cuotas aplicadas en cada una de las autopistas ya están definidas, y para su reajuste se recurre al (INPC).

### 2.3.7.1. Objetivo del modelo

Obtener ingresos mediante tarifas actualizadas con el recurso y la aplicación de índices de precios al consumidor asignados a la tarifa del año anterior.

### 2.3.7.2. Entorno del modelo

El criterio que emplea la administración central del gobierno para fijar las tarifas que pagan los vehículos que transitan por caminos de cuota, es aplicar a la (TC) existente, el correspondiente Impuesto al Valor Agregado (IVA). En ese mismo contexto y con la idea de establecer el (PE) se incluyen también: a) Las características de uso de la infraestructura; b) Clasificación del vehículo; c) Distancia recorrida; y d) Sistema de pago ya sea por prepago o por factura a domicilio.

### 2.3.7.3. La existencia de otros cargos

Existen otros cargos en las estaciones de (PE) y son aquellos que cubren diferentes conceptos, incluyendo las utilidades y montos financieros, así como gastos en mantenimiento y conservación de las vialidades (Romero J.A., *et al*, 2004). En esta estructura de costos, el concepto más importante está representado por las inversiones en mantenimiento y rehabilitación las cuales, son necesarias para mantener la seguridad y el uso económico de los caminos, y evitar se afecte el estado de las infraestructuras.

### 2.3.7.4. Estructura del modelo vigente

Actualmente el modelo en uso, permite diseñar la (TC) para enfrentar y cumplir con los objetivos principales de la administración central a través de los ingresos: 1) Gastos de operación, mantenimiento, supervisión, conservación y administración; 2) Recuperación de la inversión; y 3) Pago de la deuda por el rescate de autopistas concesionadas.

Los rubros anteriores se pueden plantear de la siguiente manera:

$$S = I_{ng} - G \quad [2.26]$$

Donde:

$S$ , es el superávit (para pago de deuda y recuperar la inversión).

$I_{ng}$ , son los ingresos.

$G$ , son los gastos (costos de operación, mantenimiento, supervisión, conservación y administración).

### 2.3.7.5. Necesidad de ingresos

Los ingresos que requiere la administración están dados por:

$$I_{ng} = \sum_{n=1}^T (Tarifas) = Trafico * TC \quad [2.27]$$

Donde:

( $TC$ ) se aplica en el periodo actual y se ve afectada por él  $IVA$  y el  $INPC$  anual, con la intención de aplicarse al usuario en el año siguiente. Por lo tanto para determinar la tarifa del año referido, se utiliza:

$$TC = (Tarifa \text{ periodo anterior}) * INPC \quad [2.28]$$

### 2.3.7.6. Aplicación del modelo

Para un ejemplo de aplicación ver Anexo Q de esta Tesis.

### 2.3.8. Resumen de tarifas de modelos

En la Tabla 2.11, se hace una compilación de resultados para observar el comportamiento de la ( $TC$ ). Para ello se toma como referencia sus valores obtenidos en los Anexos L, M, N, P y Q de este documento.

Modelo	(TC)
	(\$)
	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 240, 260, 300, 340, 360
Vergara c.	→
HunH.	→
Bonifaz J.	→
Rico A.	→
(TC) (Aplicada en México)	→

Tabla 2.11. Comparación de valores de la tarifa. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de los modelos analizados.

La información proporcionada por la Tabla 2.11, trata de clarificar las diferencias de los valores de la (TC) cuando se emplean diferentes modelos tarifarios y de esta manera realizar una comparación tarifaria considerando los aspectos que cada variable expresa. No obstante, al no existir un equilibrio comparativo para las mismas variables, si se puede establecer cierta relación por las características mismas de las autopistas (flujo vehicular, ingresos, estructura física). Por otra parte, los modelos persiguen el mismo fin, hacer más eficiente la autopista (sea mejor utilizada).

### 2.3.8.1. Observaciones y comentarios

#### 1. Modelo de Vergara C.

- i) La (TC) con un valor de \$ 3.13 se obtuvo utilizando los costos de mantenimiento por \$ 29'184, 470 del año 2005 que refiere la Tabla 2.7 y utilizando [2.4].
- ii) El valor de \$ 0.017, resultó del empleo de los costos por deterioro por \$ 166, 910 (Tabla 2.8) correspondientes al año 2005 sustituidos en [2.4].
- iii) El valor de \$ 364.58, se obtuvo utilizando una inversión de \$ 55 millones de pesos/km, costos de deterioro por \$ 166, 910., que, fueron sustituidos en [2.1].

#### 2. Modelo de Hun H.

- iv) Para obtener el valor de \$ 89.20, se empleó una inversión de \$ 55 millones de pesos/km. sustituidos en [2.14].
- v) El valor de \$ 0.017 se obtuvo con la utilización de un costo de deterioro por \$ 166, 910. y [2.15].

#### 3. Modelo de Bonifaz J.

- vi) El (PE) de \$ 0.17, resulta de emplear una tarifa inicial de 0.017, sustituida en [2.7].

vii) La  $(TC)$  de \$ 141.80, se obtuvo de utilizar una tarifa inicial de US\$ 1.2 en [2.7].

#### 4. Modelo de Rico A. y el modelo vigente en México

viii) Para dichos modelo, los valores calculados corresponden a \$ 56.32 y \$ 80.00 respectivamente.

### **2.3.9. Eficiencia de los modelos tarifarios analizados**

La eficiencia de los modelos anteriormente analizados mide los resultados logrados por cada uno de ellos. La estructura de cada esquema difiere por sus características y por ello se han clasificado en dos secciones:

i) En el primer bloque están agrupados los modelos de Vergara C. y Hun H., porque ambas propuestas contemplan la inversión aportada por el concesionario para la construcción de la infraestructura. El análisis de este grupo arroja valores intermedios de la  $(TC)$ .

ii) En el segundo grupo se integran los modelos de Bonifaz J. y Rico A. ya que los valores obtenidos para la  $(TC)$  son los extremos (máximo y mínimo).

#### **2.3.9.1. Análisis de resultados**

Los resultados mostrados en la Tabla 2.20 y teniendo como referencia cada valor de la  $(TC)$  los alcances del modelo de Hun H. son mejores en relación a los resultados que propone el modelo de Vergara C. Básicamente, el valor de la  $TC = \$ 364.58$ , ha sido obtenido con la ecuación original de Vergara que involucra: i) La inversión del concesionario; ii) Los beneficios económicos (intereses a que tiene derecho el concesionario por participar con su capital en la construcción de la infraestructura); y iii) Los costos de mantenimiento, operación y explotación de la autopista.

#### **2.3.9.2. Analogía entre los modelos de Vergara C. y Hun H.**

Los modelos de Vergara C. y Hun H. pueden converger en una *Tarifa Base* de \$ 364.58 y \$ 89.20 respectivamente. También convergen en una *Tarifa Variable* de \$ 0.017 para cubrir los costos por deterioro.

#### **2.3.9.3. Modelo de Bonifaz J.**

En ambos escenarios mostrados en la Tabla 2.20, se manifiesta la operatividad del modelo de Bonifaz J., en relación al empleo de costos de mantenimiento para el cálculo de la  $(TC)$ . Sin embargo los valores obtenidos de \$ 0.17 y \$ 141.80 son extremos ya que se han empleado tarifas iniciales diferentes. El modelo no contempla en su estructura matemática las inversiones para la construcción de la autopista.

#### **2.3.9.4. Modelo de Rico A.**

El caso del modelo de Rico A. es diferente ya que su estructura matemática es más amplia. De origen, no considera la inversión del concesionario en la determinación del  $(PE)$ , en cambio, introduce los

( $COV_s$ ) de ambas rutas (autopista y alterna) para mejorar su modelo y proporcionar resultados más eficientes en el cálculo.

### **2.3.9.5. Modelo aplicado en México**

La ( $TC$ ) aplicada a la categoría vehicular A de \$ 80.00 (año 2005), es excesiva. Las condiciones presentes en la autopista y los reducidos costos de mantenimiento indicados en la Tabla 2.7, no justifica aplicar tales valores. Así mismo:

- No existen fuertes inversiones por recuperar.
- Las inversiones son menores y son dedicadas al mantenimiento, administración y operación de la infraestructura.
- La ( $TC$ ) aplicada genera que el tránsito se distribuya hacía la alterna.
- Al existir tráfico intenso en la alterna da origen a incremento en los costos de mantenimiento y mayor riesgo de accidentes.

En el caso de México, y de acuerdo con la Tabla 2.7, los ingresos superan por mucho a los costos de mantenimiento, como se advierte en 4ª y 5ª columnas respectivamente.

### **2.3.9.6. Analogía en los modelos de Bonifaz J. y de México**

Ambos modelos utilizan los índices de precios al consumidor con la idea de cuantificar el valor de la ( $TC$ ) a precio real. Las diferencias entre ambos modelos corresponden a:

1. El modelo de Bonifaz J., únicamente es aplicable en autopistas concesionadas que inician su proceso de construcción, operación y mantenimiento.
2. La autopista México – Cuernavaca es una infraestructura rentable y madura. El empleo de índices de precios al consumidor concibe una ( $TC$ ) inevitablemente elevada.

### **2.3.10. Modelos tarifarios aplicables o no en México**

1.- Modelo de Vergara C., dado por [2.1]

Es apropiado para autopistas concesionadas. Adicionalmente, el modelo propone separar el compromiso de financiamiento de infraestructuras viales con el empleo de la ( $TC$ ) cobrada a usuarios.

En México ya se tiene la experiencia sobre los sistemas concesionarios para la construcción, operación y mantenimiento de autopistas y difícilmente se podrá aplicar dicho modelo en el país ya que en el sector, existe una fuerte deuda derivada de los fallos ocurridos en el primer esquema de concesiones.

Como una aproximación al caso mexicano, se observa la ocurrencia de similitud en las variables: Inversión ( $I_o$ ), costos de mantenimiento ( $m_j$ ) y los beneficios a que tiene el concesionario por invertir su capital ( $B_j$ ). Sin embargo, actualmente no sería oportuna su utilización por las condiciones de deuda existentes.

2.- La propuesta de Bonifaz J. dada por [2.7]

Se acopla perfectamente al sistema concesionario por manejar sus resultados en moneda extranjera. Ocasionalmente, sería factible de aplicarse en México por utilizar variables similares como el (*INPC*) e (*IVA*) . Pero se debe descartar su práctica por el uso de una tarifa inicial que involucra los costos de mantenimiento exclusivamente. Aquí en México como se ha mencionado, la (*TC*) cubre este concepto y otros relacionados con deuda.

3. Las ecuaciones de Hun H.:

$$Tarifa\ Base = \frac{CUPUR}{VEPER}$$

$$Tarifa\ Variable = \frac{COVAA}{MILLARA}$$

Expresadas matemáticamente como lo indican [2.14] y [2.15], son propuestas interesantes de aprovecharse en autopistas concesionadas. Sin embargo en México, las variables empleadas ( $K_1, K_2, X_1$  y  $X_2$ ), identificados como los costos directos de construcción, costos variables y número de vehículos respectivamente), no son utilizadas directamente en el modelo aplicado actualmente.

### **2.3.11. Escenarios del ambiente tarifario en México**

Utilizando los datos de las columnas B y C de la Tabla 2.7, se construyen la Figura 2.3, donde se observa la oferta de la administración con características heterogéneas: para los años 1993 y 1994 al mantenerse constante la  $TC = \$ 25.00$ , se vio reflejada en el incremento del parque vehicular. Por otro lado, al cambiar de valor a \$ 30.00, el tráfico se redujo drásticamente.

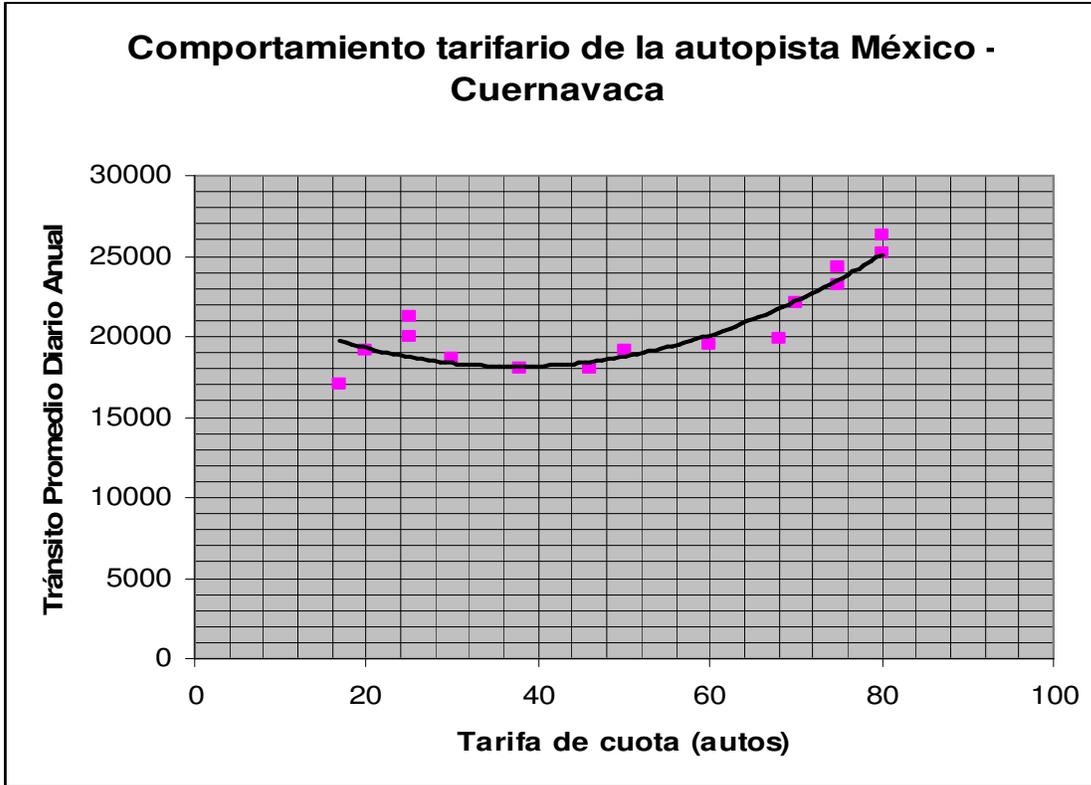


Figura 2.4. Dispersión de los puntos de la tarifa de cuota y TDPA. Fuente: elaboración propia mediante Excel.

Para un  $R^2 = 0.8076$ , la calidad de ajuste es adecuada y se comprueba al observar la nube de puntos agrupada a la curva. Por otro lado se puede afirmar que el 80.76 % es la variación de la tarifa de cuota con respecto a la variación del *TDPA* .

La representación gráfica de la curva anterior, analíticamente se expresa como:

$$Y = 3.8144X^2 - 284.64X + 2345 \quad [2.29]$$

$$R^2 = 0.8076$$

Donde:

$Y$  , es el Tránsito Diario Promedio Anual

$X$  , es la (*TC*) aplicada.

La ecuación anterior permitirá determinar proyecciones futuras como se advierte en la Tabla 2.21.

<i>(TC)</i> propuesta (\$)	<i>TDPA</i> proyectado
85	26, 822
90	28, 737
95	30, 842
100	33, 138
105	35, 625
110	38, 302
115	41, 170
120	44, 229

Tabla 2.12. Tránsito Diario Promedio Anual y tarifas proyectadas. Fuente: elaboración propia con información del proceso.

De acuerdo con el comportamiento de [2.29] y las proyecciones mostradas en la Tabla 2.12, se puede afirmar que cuando se incrementa el tránsito, se incrementa también la *(TC)*.

## 2.4. Ventajas de los modelos tarifarios analizados

En esta sección se indican las ventajas de los modelos tarifarios de los autores que más se ajustaron a la investigación de esta Tesis.

### 2.4.1. Modelo de Vergara C.

El modelo matemático de Vergara C., se estructura de la siguiente manera:

$$I(Q^o) + \sum_{j=1}^T m_j(q_j, Q^o) + \sum_{j=1}^T B_j^o = \sum_{j=1}^T (\tau_j + \sigma)q_j$$

Con este modelo, el autor ha logrado desvincular el pago del *(PE)* con el mecanismo financiero. Es decir, se trata de que la administración no considere él *(PE)* para el pago de los compromisos financieros mediante la recolección de peajes, en cambio considerar la *(TC)* como un precio por un servicio, capaz de asegurar a los ciudadanos carreteras alternas y razonables.

### 2.4.2. Modelo de Bonifaz J.

Estructura matemática de este modelo:

$$Peaje = Tarifa * (Tipo de cambio) * \left[ \frac{CPI_2}{CPI_1} \right]$$

El autor, ha permitido generalizar el modelo usando la *Tarifa* (primer término de la ecuación) como variable con valores distintos. Por ejemplo, le asigna los siguientes precios: *Tarifa* = US \$ 1.20, 1.60, 2.00 para los primeros 100 km, el valor inicial de US \$ 1.20 se debe de aplicar al inicio de la concesión de la autopista, el valor de US \$ 1.60 en el segundo año de construcción y el valor US \$ 2.00 se aplicaría para el inicio de otros tamos de una misma ruta.

### 2.4.3. Modelo de Hun H.

Este modelo se estructura en dos partes:

$$Y_1 = \frac{K_1}{X_1}$$

*Tarifa Base* = [Total de la cuenta pública ( $K_1$ ) a ser recuperada] ÷ [total de número de vehículos que usan la autopista durante el periodo de recuperación ( $X_1$ )].

$$Y_2 = \frac{K_2}{X_2}$$

*Tarifa Variable* = [Total del costo variable ( $K_2$ ) para el año] ÷ [total de millas de todos los vehículos para el año ( $X_2$ )].

El modelo ha propuesto la aplicación de la ( $TC$ ) en dos componentes. Un mecanismo sería para recuperar la inversión en el mantenimiento de la infraestructura y el otro para saldar la cuenta total pública por el empleo de capital en la construcción de la autopista.

### 2.4.4. Modelo de Rico A.

El modelo referido se presenta con seis ecuaciones:

$$Fr(i) = \frac{1}{1 + e^{[1.2+0.03(Ci+Tj-Cj)']}}$$

$$VCi = \frac{VCod}{1 + e^{[1.2+0.03(Ci+Tj-Cj)']}}$$

$$Ii = \frac{VCod(Ti - DETi)}{1 + e^{[1.2+0.03(Ci+Ti-Cj)']}}$$

$$DETi = 0.1Li * NEEK$$

$$[0.03(T_i - DET_i) - 1]e^{[1.2+0.03(C_i+T_i-C_j)]} = 1$$

$$TC_2 = \frac{T_i}{\sum f_k T_k}$$

En el Modelo de Rico A. se observaron los siguientes beneficios:

1. Emplea un modelo en autopistas poco conformadas en sus aforos e ingresos, específicamente en aquellas concesionadas para que las empresas maximicen sus ingresos por la aportación de su capital.
2. Determina exclusivamente la ( $TC$ ) para un camión C2.

3. Cuando la autopista dispone de Tránsito Promedio Diario Anual reducido (2,460 vehículos, cifra que incluye todas las categorías), la  $(TC)$  obtenida es de \$ 42.00

## 2.5. Desventajas de los modelos analizados

### 2.5.1. Modelo Tarifario de Vergara C.

- No precisa para los tiempos de concesión, los volúmenes del tránsito que permitan definir el  $(PE)$ .
- Derivado del punto anterior, dicho modelo interpreta un peaje muy general. En otras palabras, el modelo no logra especificar el valor del  $(PE)$  de cada una de las categorías vehiculares.
- No es adecuado para autopistas altamente rentables. Es decir, dicho modelo únicamente es apropiado para autopistas que están en el régimen de concesión porque en la estructura matemática del modelo se contempla la Inversión  $(I_o)$  que realiza el operador del proyecto.
- Se indica una inversión inicial  $(I_o)$  que por principio general siempre aumenta por la influencia del costo de la obra extraordinaria, por lo tanto se deriva en un costo de  $(TC)$  inconsistente como ocurrió en México.
- Adicionalmente, en el modelo de Vergara C., el término  $T_o$  (tiempo de inicio de concesión), donde se incluyen los trabajos primarios de construcción, el valor del  $(PE)$  sombra sería muy elevado.
- No se contempla la tasa de inflación. Este indicador económico debería de afectar la  $(TC)$  para no rezagarse en el tiempo.

### 2.5.2. Modelo de Bonifaz J.

- La estructura del modelo es general y no contempla el volumen del tráfico vehicular.
- El  $(PE)$  calculado mediante dicho modelo, no logra establecer a que tipo de unidad vehicular se debe asignar (automóvil, camión y/o autobús).
- El análisis del modelo de Bonifaz arroja el empleo de variables expresadas en moneda extranjera (dólares). El término  $(CPI)$ , es un índice que maneja el país de Estados Unidos donde la canasta básica difiere significativamente con la del país de origen. Lo cual significa una gran ventaja para el concesionario.
- Cuando se sustituyen los valores de la  $(TC)$  en el modelo (usualmente se manejan dólares), el resultado del  $(PE)$  siempre será elevado ya que esta moneda incrementa su valor a través del tiempo.

### 2.5.3. Modelo de Hun H.

Dicho modelo se expresa con las ecuaciones [2.14] y [2.15]. Sus desventajas se indican de la siguiente manera:

- En el caso de [2.14] la variable  $X_1$  es el número de vehículos que transitan por la autopista durante el periodo de recuperación y que pueden variar por las condiciones del cobro, es decir, si el ( $PE$ ) no es atractivo para el usuario, el número de vehículos se reduce y habría inconsistencia en el modelo.
- Cuando se emplea [2.15], la variable  $X_2$  es el total de las millas recorridas por los vehículos en un año. Este indicador está en función del total de vehículos que transitan por la autopista y también dependen de costo del ( $PE$ ).
- El modelo estructurado en ambas ecuaciones no precisa a que categoría vehicular se debe aplicar la ( $TC$ ).
- En ambas ecuaciones, el modelo no indica en que momento se debe aplicar una tasa de inflación a la ( $TC$ ) para evitar rezagos en su valor.

### 2.5.4. Modelo de Rico A.

- El modelo no sigue la Ley de la Demanda. “A mayor cantidad menor precio”. En cambio mantiene características de la Ley de la Oferta. “a mayor cantidad mayor precio”. Es decir, cuando hay presencia de tránsito vehicular elevado, el modelo proporciona valores del ( $PE$ ) con tendencias al aumento.
- En el proceso de cálculo de la ( $TC$ ) maneja seis ecuaciones y catorce variables lo que resulta laborioso y extenso.
- La búsqueda de datos y tablas que incluyen: ( $TCs$ ) por año y vehículo, flujo vehicular, equivalencia de ejes, costos de operación vehicular, costos de operación y mantenimiento y otros más, es ardua y a largo plazo.
- Búsqueda de los datos en manuales y tablas con prudencias por parte de autoridades y funcionarios de: *Tarifa* relativa, equivalencia de ejes, costos de operación vehicular en tablas y manuales.
- Cuando se empleen los ( $COV_s$ ), estos deberán de actualizarse, ya que estos valores están tabulados y expresados en el año que se editaron.
- Derivado del punto anterior la actualización de los ( $COV_s$ ) conlleva que la ( $TC$ ) también se encuentre actualizada.

### **3. Metodología para actualizar tarifas de cuota**

En este capítulo se presenta una metodología para actualizar (*TCs*) en autopistas rentables y de altas especificaciones. Se describen brevemente y con claridad los conceptos que deben incluirse en cada apartado de cada una de las etapas. Igualmente en esta sección se desarrollan puntualmente los contenidos mínimos necesarios para la obtención de un Modelo Tarifario Vehicular (MTV) para tres categorías vehiculares. El diseño de esta Metodología considera las condiciones generales en cada etapa, de manera que exista correspondencia, se ajuste a la realidad y a las necesidades particulares de proyectos carreteros por emprender.

#### **3.1. Disertación sobre el método inductivo**

Para el desarrollo de la metodología referida, es necesario hacer una exposición del método inductivo; siendo uno de los métodos que utiliza la investigación científica de la cual se basa esta metodología. De acuerdo, con Dávila G., (2006), el uso del método inductivo destaca que toda investigación comienza con la observación; la observación proporciona una base segura sobre la que se puede construir en conocimiento científico, que se deriva, mediante la inducción de los enunciados.

Francis Bacon (1560 – 1626), fue el primero que planteó el método inductivo para adquirir conocimientos y para ello proponía una serie de eventos. Para Bacon, dichos sucesos son necesarios para obtener y llegar a discernimientos.

Por lo tanto, el investigador debe establecer conclusiones generales basándose en hechos recopilados mediante la observación directa, debe observar la naturaleza directamente, reunir datos particulares y hacer generalizaciones a partir de ellos. Bacon también decía que las observaciones se hacían sobre fenómenos particulares de una clase y luego a partir de ellos, se hacen inferencias acerca de la clase entera. También suponía que, para conseguir tales fines se requería la acumulación de datos empíricos. Los científicos debían recoger y anotar los resultados de múltiples observaciones sin detenerse a teorizar. Conjeturaba además, que con el tiempo, las verdades generales, las regularidades naturales, surgirían por sí mismas cuando se tuviera una buena colección de hechos particulares.

##### **3.1.1. Componentes del método inductivo de Bacon**

1. Se reúnen todos los hechos que sean posibles acerca de la «naturaleza del tema» que se quiera investigar.
2. Se ordenan estos hechos según tres tablas:
  - a) Tabla de presencia (hechos en los que se da esa naturaleza o fenómeno). Aquí, se trata de reunir los hechos diferentes o no comparables.
  - b) Tabla de ausencia (hechos en los que no se da). En esta tabla, se trata de recoger hechos semejantes a los marcados en la primera tabla pero tales que en ellos no se manifieste el fenómeno.
  - c) Tabla de grados (hechos en que varía).
3. Se procede a la inducción propiamente dicha, la cual comienza por el procedimiento de exclusiones. Es decir, excluir como «forma» aquello que no se encuentra cuando se da el fenómeno, o que se encuentra cuando no se da, o que aumenta cuando el fenómeno disminuye, o disminuye cuando el fenómeno aumenta.

Ahora bien, Bacon reconoce que este trabajo es muy arduo y supone muchos rodeos. Por eso propone algunos auxiliares para la inducción. El primero es lo que llama «esbozo de interpretación», o «primera

colecta», que no es sino la formulación de una hipótesis provisional a partir de los casos en que la forma buscada parece encontrarse de un modo más claro.

Durante siglos se había considerado al método inductivo como el método de la ciencia. Las leyes se justificaban desde los casos que se conocen, se inducen por generalización a enunciados generales que se convierten en leyes. De acuerdo con Lorenzano C., (2000), al inicio del método inductivo se presenta un suceso observable o conocimientos de nivel I a otro enunciado que habla de otro hecho observable que ocurre a continuación del primero.

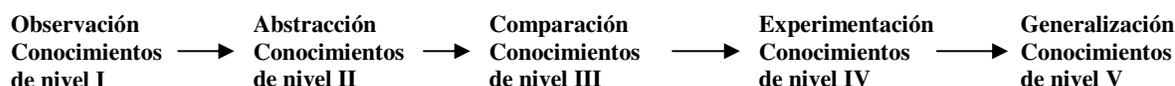


Tabla 3.1. Proceso del método inductivo. Fuente: Balvanera P., (1995)

Otros autores como Balvanera P., (1995), propone la Tabla 3.1 donde se muestran las estrategias del aprendizaje utilizando para ello el método inductivo. Dicha tabla contiene los procedimientos siguientes:

- a) Observación, consiste en proyectar al participante sobre hechos o fenómenos, tal como se presentan en la realidad. Los datos suministrados por intuición deben completarse analíticamente. La observación puede ser directa o indirecta. En la primera ocurre directamente el fenómeno y en la segunda se hace con base en su representación grafica.
- b) Comparación, en esta parte se establecen similitudes o diferencias entre objetos, hechos o fenómenos observados. Se hace un análisis y/o clasificación y se advierten las diferencias de carácter numérico y cualitativo.
- c) Abstracción, aquí, el investigador selecciona los aspectos más comunes de uno o varios fenómenos, también se puede estudiar aisladamente un elemento excluyéndolo de sus demás componentes.
- d) Generalización, consiste en aplicar o transferir las características de los fenómenos o hechos estudiados a todos los de su naturaleza, clases, género o especie. La generalización constituye una ley, norma, o principio universalmente aceptado (Hernández P., 2000).

Métodos Lógicos	Estrategias de aprendizaje – procedimientos
Inductivo	Observación, abstracción, comparación, experimentación, generalización

Tabla 3.2. Estrategias de aprendizaje mediante el método inductivo.

La Tabla 3.2 se complementa con la recolección de datos en fuentes de información primarias y/o secundarias externas para recolectar datos que permitan generar parte de la información con la que se crea para extraer las bases y fundamentos que en particular faciliten el análisis.

### 3.2. Planteamiento de la Metodología

Este documento toma como base los conceptos anteriores para plantear una metodología para actualizar tarifas de cuota en autopistas de altas especificaciones. De acuerdo con Monroy S., (2004),

por las características particulares del método inductivo, se requiere realizar: a) La observación e identificación de información de campo y documental; b) Proceder al análisis y descripción de datos; c) Formulación de propuestas científico – técnicas (diseño del modelo) y; d) Contrastación y/o validación

### 3.3. Descripción del trabajo

De manera general, los pasos seguidos consisten en recopilar toda la información disponible que pudiera ser de utilidad para lograr los fines perseguidos en la investigación. Para ello, se propone una secuencia de pasos involucrados en un diagrama de flujo que describe en detalle las actividades pertinentes al desarrollo del procedimiento. Cada paso está orientado para facilitar información preparatoria y datos preliminares relacionados con la obtención de modelos tarifarios en autopistas de cuota.

#### 3.3.1. Diagrama de flujo

El diagrama de flujo de la metodología se muestra en la Figura 3.1. Éste incluye los componentes básicos para la obtención de un Modelo Tarifario Vehicular (MTV) y la actualización de tarifas. Se identifica el Universo de trabajo representado por las autopistas de cuota, siendo esta parte el inicio de la construcción del proceso.

#### 3.3.2. Limitaciones de la Metodología

La aplicación de la metodología es limitada para ciertas circunstancias o en su caso no es aplicable si se reflejan algunas de las siguientes circunstancias dadas en la Tabla 3.3

No.	Conceptos
1	En autopistas con tráfico vehicular reducido y como consecuencia concurren ingresos mínimos por el cobro de tarifas de cuota.
2	En autopistas de países con distorsiones y/o aceleraciones fuertes en sus economías (inflaciones) ya que, las variaciones en los precios de la tarifa de cuota originan alteraciones en la demanda de vehículos.
3	En autopistas con aplicación de peajes costosos que originan la menor demanda de usuarios.
4	En autopistas de alta ocupación vehicular, donde se producen excesos de demanda con la congestión consecuente y desaliento en el usuario que opta por la carretera alterna.

Tabla 3.3. Limitantes de la Metodología. Fuente: elaboración propia con información de: O valle, H. (1997). Las carreteras del Siglo XXI, 1997. México., Pereyra A., Marchas y Contramarchas en la Concesión de carreteras en Uruguay (2003)

#### 3.3.3. Observación e identificación

De acuerdo con el diagrama de flujo se inicia la primera etapa con la observación de los hechos que acontecen en las autopistas de cuota. El ambiente tarifario en donde se conjugan varios factores: usuarios, administración y explotación del proyecto. Se requiere recopilar la mayor información de campo.

### 3.3.4. Adquisición de datos

La mayor parte de los países disponen de una administración central específica, facultada y orientada para generar su Base de Datos. Esta información debe ser abundante, suficiente y concebida por el sistema carretero, concerniente con la planeación, ejecución, mantenimiento y operación de sus autopistas. Usualmente la información se actualiza cada año y está disponible para toda persona. En algunos casos, la búsqueda de datos puede dirigirse a Manuales, Bibliografía Técnica, Journals y Compendios existentes en bibliotecas, organizaciones particulares y públicas vinculadas con el organismo central.

Los datos e información que se deben reunir para un análisis detallado de un proyecto vial son en definitiva aquellos afines con el escenario carretero como: a) Tarifas de cuota; b) Flujo vehicular; c) Ingresos; d) Inversiones; e) Costos de operación; f) Costos de mantenimiento; g) Composición de clases y/o tipos de vehículos; h) Tipos de terreno; i) Factores de Daño Unitario; j) Factores de Vehículos Equivalentes; k) Periodos de análisis; l) Valor de rescate; m) Tasa de actualización; y n) Costos de congestión . A continuación se describe brevemente la información de los términos anteriores y con ello facilitar su búsqueda para su adquisición.

- **Tarifa de cuota** de las clases vehiculares que han circulado en las autopistas rentables. Estas cifras económicas, muestran valores anuales del (*PE*) por clase vehicular en moneda de uso nacional por kilómetro recorrido.
- **Flujo vehicular** de todas las clases vehiculares que transitan en las autopistas. Estos flujos vehiculares se proporcionan en cantidades mensuales y resultan de conteos efectuados en puntos localizados en una plaza de cobro. En la mayoría de los países, se realizan aforos permanentes a través de estaciones maestras que permite generar la información del flujo y su clasificación vehicular durante los 365 días del año.
- **Ingresos** por categoría vehicular. Los ingresos son beneficios económicos que recibe el organismo operador del proyecto por la aplicación de cuotas a los usuarios por transitar en las autopistas, surgen en el curso de las actividades diarias del tránsito y se definen como la cantidad de efectivo superior a los costos. Los ingresos son recolectados manual y electrónicamente en las plazas de cobro.
- **Costos de mantenimiento** provenientes por labores de conservación de las infraestructuras. Son requeridos para que los proyectos carreteros sean transitables y atrayentes. Las obras de mantenimiento, están inherentes al Índice Internacional de Rugosidad (IRI). Es decir, la clasificación del IRI muestra valores de: 2, 3, 4, 5, éste último valor significa un pavimento viejo con imperfecciones en la superficie. Los costos se proporcionan en cifras anuales en moneda local.
- **Clases vehiculares** que circulan en las autopistas. La composición vehicular que transita en autopistas es diversa y se clasifica por categorías y/o tipos de vehículos en porcentajes y se recurre a los manuales de datos viales para su adquisición. Los manuales clasifican los vehículos por ejes y peso.
- **Tipos de terreno** donde se alojan las autopistas de cuota. Esta clasificación se proporciona en los manuales de la administración. Por ejemplo en México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes dispone de los manuales siguientes: Manual de Capacidad Vial y Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras.

- **Factores de vehículos equivalentes** para determinar el tránsito equivalente y conservar las condiciones prevalecientes cuando las infraestructuras viales se alojan en terrenos plano lomerío y montañoso. Esta información es proporcionada en los manuales: Manual de Capacidad Vial, Apéndice B1, Vehículos equivalentes para un análisis generalizado de segmentos de autopistas, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.
- **Factores de daño unitario**, para emplearse en el cálculo del (*CD*) provocado por los vehículos en la carpeta de rodamiento. Estos datos se disponen en los manuales. En México, se recurre a “Análisis Económico del Comportamiento de Secciones Estructurales de Carreteras en Diversas Circunstancias” del Instituto Mexicano del Transporte.

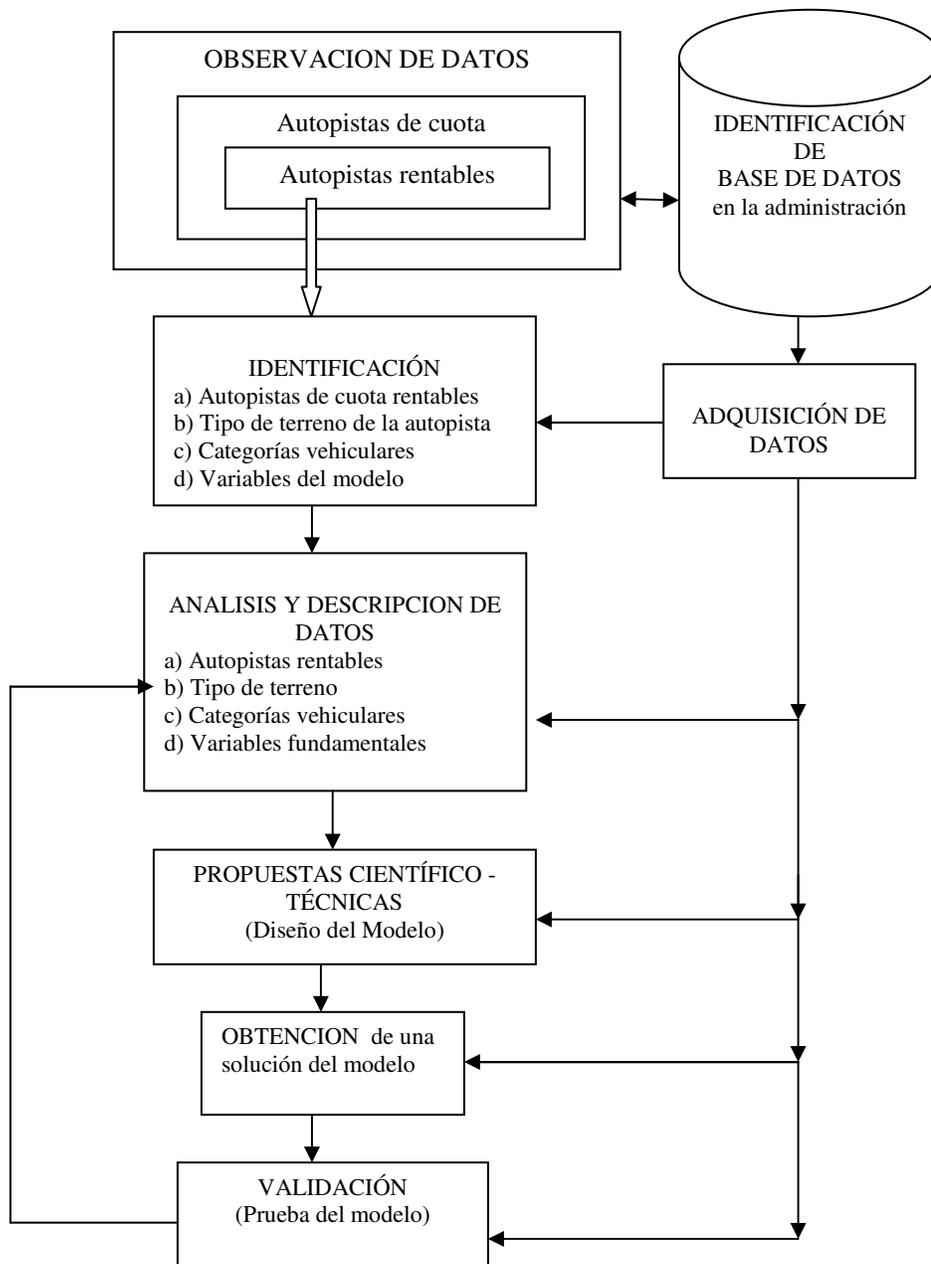


Figura 3.1. Diagrama de flujo de la Metodología para actualizar tarifas. Elaboración propia con información del proceso.

- **Tasa de actualización**, se requiere para actualizar los flujos descontados al periodo inicial. La tasa de actualización se expresa convenientemente en términos reales (no considera la inflación). Desde el punto de vista financiero, la tasa de actualización incluye el costo del capital utilizado en la inversión y la disminución en el tiempo del poder adquisitivo de la moneda. Este término es obtenido por agencias de consultoría e históricamente han tenido valores del 5 y 7% en países industrializados. Los países en vías de desarrollo como México comúnmente utilizan tasas del 10 al 12%.
- **Costos de traslado por congestión**. Estos costos resultan por el tiempo que se reduce en traslado del usuario cuando se tienen vehículos adicionales que generan mayor densidad en la

infraestructura carretera cuando se rebasa su capacidad y como consecuencia se reduce la velocidad de traslado.

Se han descrito los datos requeridos para formulación de una metodología para la actualización de (*TCs*) y a los organismos que disponen tal información. Sin embargo, se suscitan casos de inexistencia de información. Por ello, será conveniente generarla para lograr la valoración del proyecto y disponer de bases para conocer su rentabilidad.

### **3.3.5. Identificación de autopistas rentables**

En esta fase, se identifica el tipo de autopista para la cual va dirigido el estudio. Esta diferencia se hace necesaria en países donde existen carreteras de altas especificaciones (*AR*) por sus siglas, que han alcanzado madurez en condiciones de tránsito vehicular garantizado y en consecuencia son altamente rentables.

#### **3.3.5.1. Condiciones para autopistas altamente rentables**

Se establecen en la Tabla 3.4 las condiciones para considerar una (*AC*) altamente rentable. Éstas se centran principalmente en las ventajas económicas del proyecto ligadas con sus características físicas.

Por ejemplo un proyecto económico rentable es aquel cuando los beneficios superaran a los costos incurridos para su construcción. Sin embargo, para que este continúe desarrollando su rentabilidad durante su operación y vida útil, los ingresos deberán siempre ser mayores a los costos operativos y administrativos.

Por otra parte, los puntos del uno hasta ocho de la Tabla 3.4 están ligados y relacionados con la rentabilidad de las (*ACs*). Esto impone, que la autoridad y/o administración del proyecto siempre deberá estar supervisando cada actividad para cumplir con las metas establecidas.

No.	Conceptos
1	Los proyectos económicos se refieren a los costos del desarrollo, construyendo y operando autopistas para generar rentabilidad.
2	De acuerdo con el punto 1, se deduce:  $\text{Beneficios} > \text{Costos}(\text{mantenimiento.y.operacion})$
2	Para la generación de ingresos se requiere el tránsito vehicular para obtener ingresos. Es decir:  $\text{Ingresos} = f(\text{transito, vehicular})$
3	La autopista debe generar ingresos para ofertar el servicio con labores de calidad en el mantenimiento y operación del proyecto para asegurar y garantizar la demanda de vehículos.
4	Para asegurar la demanda vehicular, la autopista debe ofrecer servicios de primer nivel como: asistencia médica, información turística, auxilio turístico, contar con iluminación, tiendas de productos diversos, venta de alimentos y bebidas limpias.
5	La información oportuna en tiempo y calidad radica en el señalamiento claro y legible de los accesos y rutas, desviaciones, información turística y recreativa así como mensajes alusivos a la seguridad, al trazo de la carretera, dirección y a los servicios que ofrece.
6	La autopista debe operar con riesgo nulo. Implica la máxima seguridad para los usuarios durante los recorridos mediante la inducción a que se respeten las señales.
7	El proyecto debe proporcionar trato preferencial en la seguridad de los usuarios. Consta de proporcionar al usuario en caso de accidente un seguro en el cual se incluya la fianza para la libertad del conductor y acompañantes, independientes de la causa del siniestro.
8	La autopista debe tener preponderancia en la gestión y la oferta de nuevas operaciones de servicio.

Tabla 3.4. Características de una autopista rentable. Fuente: elaboración propia con información de Romero J., *et al*, (2004), Robusté F., *et al*, (2001)). El peaje y los sistemas inteligentes de transporte, España., Ovalle, H., (1997). Las Carreteras del Siglo XXI, 1997. México.

### 3.3.5.2. Autopistas autofinanciables

De acuerdo con Borrajo J., (2001), las autopistas autofinanciables son aquellas que soportan un tráfico diario por arriba de los 15, 000 vehículos diarios, en cambio las que están por debajo de los 10, 000 deben de recibir una aportación del 20% de su inversión para labores de mantenimiento y explotación y las concesionarias no caigan en riesgos económicos. Con ese criterio, la Tabla 3.5, muestra cuatro proyectos no rentables con capacidad menor a 15, 000 vehículos/día, (Chile, Colombia, Hungría y Perú), se observan también nueve proyectos autofinanciables. El Puente Datford en Londres tiene un tránsito de 120, 000 vehículos considerado como un tráfico alto que no ofrece riesgos de financiamiento.

Sin embargo, tomando como referencia la información de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (2004) de utilizar US\$184/km/día para labores de mantenimiento y US\$ 491/km./día por explotación y administración de la autopista para un total de US\$ 675.00/km./día, se observa que con este nuevo criterio los proyectos de Chile, Malasia, Hungría y uno de España serían proyectos no rentables como se muestra en la Tabla 3.5. Son trece proyectos carreteros que han sido evaluados para indicar su alta o baja rentabilidad.

País y Proyecto	Vehículos por día	(PE) (dólares Por km)	Longitud (km)	Inversión (Millones de dólares)	Ingresos (dólares por día)	Costos de explotación y mantenimiento (dólares/km /día)
Chile Acceso sur a Concepción	1,200	0.03	112	27	4,032	75,600
Colombia Autopista Buga - Tulua	10,000	0.10	23	47	23,000	15,525
México Autopista México - Toluca	22,000	0.22	22	313	106,480	14,850
China Superautopista Guangzhou - Zhenzhen	50,000	0.05	123	1,922	307,500	83,025
Malasia Autopista Norte - Sur	250,000	0.03	870	3,192	7,500	587,250
Hungría Autopista M1/M15	11,000	0.03	59	440	19,470	39,825
U. K Puente Datford	120,000	0.48	2.8	247	57,602.8	1,890
USA SR-91	37,000	0.16	16	126	94,720	10,800
Perú Autopista Arequipa - Matarani	2,200	1.0	105	6,864	231,000	70,875
España Madrid - Guadalajara	15,000	0.21	45.2	1,058	142,380	30,510
España Cartagena - Alicante	5,000	0.08	96.00	940	38'400	64,800
Uruguay Ruta 1 (Gral. Manuel Oribe)	21,000	0.127	170	--	453,390	114,750
Portugal Auto - Astrada A - 1	40,000	0.94	23.4	--	879,840	15,795

Tabla 3.5. Autopistas rentables y no rentables. Fuente: elaboración propia con información de Borrajo J., (2001) Financiación de autopistas en España, Fisher G. Babbar S., (2000), Private Financing of Toll Roads, Ramírez A., Rojo A. (2001) Modelo económico financiero de las autopistas de peaje españolas, Alcázar L. Evaluación económica de la autopista Arequipa – Matarani.,(2004)

### 3.3.6. Evaluación de autopistas rentables

La toma de decisiones en la identificación de autopistas rentables, es un paso decisivo que se debe realizar con las variantes económicas correspondientes. Algunas ventajas que se tienen de la evaluación de proyectos carreteros:

- Comprensión para obtener una mejor recuperación de la inversión. Los programas que son analizados son capaces de generar un mayor margen de ganancia al inversionista, considerando algún periodo de tiempo.

- Permite evaluar los beneficios de este tipo de proyectos carreteros y aplicar los resultados en un plano local o regional.
- Documentación del proceso de decisiones. Esto se refiere a explicar de manera clara y precisa las razones que originaron la selección de la alternativa elegida.

### 3.3.6.1. Fundamentos económicos

Básicamente, el problema de la evaluación es conocer la cantidad de capital requerida para la inversión en el presente, la que se va a ganar y la que se necesita invertir a futuro.

### 3.3.6.2. Criterios de evaluación

Para la evaluación de los proyectos carreteros y conocer su rentabilidad, se pueden emplear criterios o técnicas de valoración genéricas. Estos se basan en la corriente de flujos monetarios que, dichos proyectos prometen generar en el futuro.

Los indicadores globales de evaluación de proyectos carreteros más utilizados se describen brevemente como:

#### 3.3.6.2.1. Valor Presente Neto

Es la técnica matemática universal más empleada por los operadores de proyectos para determinar la rentabilidad de los proyectos carreteros. Consiste en pasar los montos totales de costos y beneficios a valor presente; restar los costos de los beneficios y obtener un Valor Presente Neto positivo (*VPN*).

El criterio del (*VPN*) ofrece otras ventajas como indicador de proyectos que se dan a continuación:

- Mide la deseabilidad del proyecto en términos absolutos. En general, el (*VPN*) calcula la cantidad total en que ha aumentado el capital.
- Es continuo para todo valor de la tasa de actualización.
- Siempre existe y proporciona un valor único.
- Es de fácil aplicación.
- El (*VPN*) calculado, muestra los ingresos y egresos a monedas de hoy y así, de esta manera se puede ver fácilmente, si los ingresos son mayores a los egresos.

Características del (*VPN*):

- Un proyecto será rentable cuando  $VPN > 0$ ,
- La expresión general del (*VPN*), es como se detalla de la siguiente manera:

$$VPN = -I_o + \sum_{n=1}^n \frac{(I_i - Co_i)}{(1+r)^i} + \frac{VR}{(1+r)^i} \quad [3.1]$$

Donde:

$VPN$  , es el Valor Presente Neto

$I_o$  , es la inversión del proyecto

$I_i$  , son los ingresos del proyecto

$Co_i$  , son los costos operativos del proyecto

$r$  , es la tasa de actualización

$VR$  , es el valor de rescate o salvamento y es igual a cero, si no se vende el proyecto

$i$  , es el número de años del proyecto

Con este proceso se trata de determinar:

- Un  $VPN > 0$
- Los ingresos brutos del proyecto carretero, por la aplicación de tarifas de cuota al cabo de cierto número de años.
- Los ingresos netos que resultan de restar a los ingresos brutos todos los costos incurridos para mantener el proyecto en operación (operativos, administrativos y de mantenimiento).

### 3.3.6.2.2. Factores de interés discretos

Para la actualización de los flujos futuros al periodo inicial, se recurre a factores de interés discreto capitalizado que se encuentran en los apéndices de la bibliografía de ingeniería económica.

### 3.3.6.2.3. Restricciones

Si durante el desarrollo de esta actividad se documenta que la autopista no es rentable o sea,  $VPN < 0$ , no es aplicable el presente procedimiento.

### 3.3.6.2.4. Tasa de Rentabilidad Interna ( $TRI$ )

Se puede considerar a este método como la base sobre la cual se evalúan los proyectos carreteros y se decide la inversión. Con esta técnica, se trata de obtener la tasa de interés que iguala el valor equivalente de flujos de entrada de efectivo (ingresos y ahorros) al equivalente de flujos de salida de efectivo (costos). Se afirma que cuando la ( $TRI$ ) es positiva significa que la suma de los ingresos excede la suma de los egresos y por lo tanto es aceptable.

Cuando se calcula ( $TRI$ ), el ( $VPN$ ) se hace igual a cero y se desconoce la tasa de actualización  $r$  que es el parámetro que se debe de calcular, así la  $r$  en la ecuación [3.1] viene a ser la ( $TRI$ ).

De lo anterior, se tiene: Si  $VPN = 0$ , se encuentra que  $TRI = r$ , esto significa que se debe de encontrar una tasa de interés en la cual se cumplan las condiciones buscadas en el momento de iniciar un proyecto de inversión.

La Tasa de Rentabilidad Interna será por lo tanto la  $r$  que satisfaga la ecuación siguiente:

$$I_o = \sum_{n=1}^n \frac{(I_i - Co_i)}{(1+r)} + \frac{VR}{(1+r)^i} \quad [3.2]$$

Donde:

$I_o$ , es la inversión inicial del proyecto.  
 $r$ , es la tasa de rendimiento interna.  
 $I_i - Co_i$ , son los flujos de caja que generan la inversión.  
 $i$ , es la duración del periodo en años.

Los proyectos se deben de aceptar cuando su Tasa de Interés Interna de Rentabilidad sea mayor que el costo de capital (tasa de actualización). O sea:

$$TRI > r$$

Si se cumple lo expresado por la ecuación anterior, se tendrá la mínima rentabilidad que espera la empresa.

### 3.3.6.2.5. Método gráfico para el cálculo de ( $TRI$ ).

Es muy común la utilización del método gráfico en el cálculo de un valor de  $r$ . Esto se logra con el uso de la notación estándar de los factores dada a continuación:

$$VPN = P(P / F, r, n) \quad [3.3]$$

Donde:

$P$ , es la cantidad presente conocida  
 $P / F$ , es la notación empleada cuando se usan factores discretos  
 $r$ , es la tasa de interés desconocida  
 $n$ , es el número de años del proyecto

Se proponen valores a  $r$  para determinar los ( $VPN$ ) y, se grafican para obtener la Figura 3.2, aquí se observa la existencia de un punto de corte de la curva con el eje horizontal que representa el valor de la Tasa de Rentabilidad.

En general, la ( $TRI$ ) resulta adecuada para evaluar proyectos carreteros donde el flujo de costos es fuerte al inicio del periodo de análisis y va seguido de un flujo constante de beneficios constante durante el resto del periodo.

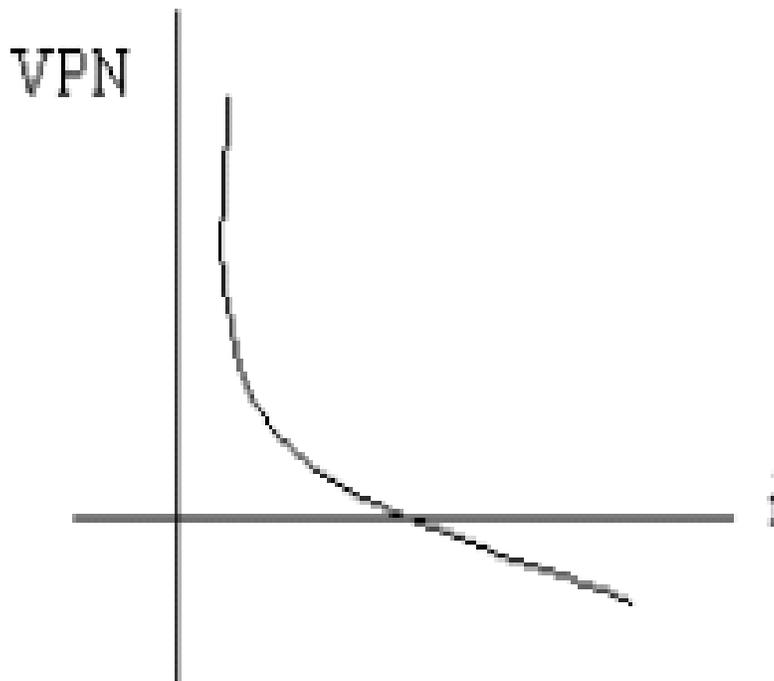


Figura 3.2. Obtención de TIR por el método gráfico. Fuente: elaboración propia con información proveniente de “Métodos de evaluación financiera en evaluación de proyectos”, Nacional Financiera 2004. México.

### 3.3.6.2.6. Periodo de Recuperación de Capital (Payback)

Es el periodo  $n$  en el cual la inversión es recuperada a través de los ingresos que el proyecto genera. La aplicación de Payback es de acuerdo con las condiciones:

1. Por una parte, el Paybak se obtiene sumando el número de periodos que toma igualar los flujos acumulados con la inversión inicial. Por otro lado, si el Payback es menor que el máximo definido por la empresa se acepta el proyecto.
2. Payback, se puede deducir a partir de la condición:

$$VPN = 0$$

De acuerdo con la ecuación anterior, el periodo de recuperación será aquel que satisfaga la siguiente ecuación:

$$I_o = \sum_{n=1}^n \frac{(I_i - Co_i)}{(1+r)^i} \quad [3.4]$$

Donde:

$i$ , es el periodo de recuperación de capital

Ventajas por el uso de Payback:

3. Indica en cuanto tiempo se arriesga el capital invertido.
4. Tiene la consideración básica del riesgo. Es decir, a menor Payback, menor riesgo.

### 3.3.6.2.7. Beneficio/Costo $\left(\frac{B}{C}\right)$

Esta medida se usa cuando se tienen restricciones de inversión en el proyecto. La razón matemática se compone de un numerador que contiene el valor presente de los beneficios y un denominador que contiene el valor presente de los costos producidos a lo largo del proyecto.

La técnica del Beneficio/Costo, tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de la rentabilidad de un proyecto, mediante la comparación de los costos previstos con los beneficios esperados. El análisis Beneficio/Costo involucra las siguientes consideraciones:

- Determinar los costos relacionados con: mantenimiento, administración y operación del proyecto.
- Determinar los beneficios económicos.
- Utilizar la relación:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{n=1}^n \frac{I_i}{(1+r)^i}}{\sum_{n=1}^n \frac{Co_i}{(1+r)^i}} \quad [3.5]$$

- Comparar las relaciones beneficios a costos para diferentes decisiones propuestas. La mejor solución para el proyecto, en términos financieros es el mejor índice  $\frac{B}{C}$ .

La razón Beneficio/Costo, mide la rentabilidad del proyecto bajo la forma del índice que resulta al dividir el Flujo de Caja Actualizado que se evalúa, al costo de oportunidad del capital entre la inversión inicial. Por ejemplo, si un proyecto muestra una relación  $\frac{B}{C} = 1.42$  que es un resultado mayor a la unidad significa que, el proyecto obtiene un retorno en esta magnitud por cada unidad monetaria invertida, asignación que se puede calificar como económicamente eficiente.

### 3.3.7. Identificación de terrenos

Se requiere la identificación del terreno donde se alojan autopistas ya que, estas son infraestructuras que facilitan el traslado y reducen tiempos de recorrido de las personas y su construcción está ligada con la topografía de la zona. En estas condiciones las características del camino contribuyen a identificar adecuadamente el terreno donde se aloja el proyecto. Esta geometría suele caracterizarse por tres tipos de regiones:

- Planas.
- Lomeríos.

Montañosas.

Esta geometría atañe a las características operativas de los vehículos al circular por las carreteras construidas en diferentes terrenos. Así, un terreno plano participa con una geometría tal que permite a los vehículos pesados sostener las mismas velocidades que los autos. En cambio los terrenos lomerío y montañoso, se asocian con caminos tales que los vehículos pesados operan a velocidades de régimen, en distancias significativas o a intervalos frecuentes.

### 3.3.8. Identificación de categorías vehiculares

La importancia de esta fase consiste en identificar y clasificar las categorías vehiculares que circulan en el sistema carretero y en especial aquellas que transitan en las autopistas sujetas al cobro de peajes.

Se deben determinar las cantidades vehiculares que transitan en mayor escala y de esta manera precisar la clase vehicular característica del grupo vehicular. Caracterizado el parque vehicular se podrá generar el correspondiente modelo tarifario. Es fundamental para ello recurrir a la Base de Datos que proporciona la administración central para solicitar y adquirir la clasificación vehicular.

#### 3.3.8.1. Clasificación vehicular

Conviene identificar las clases de vehículos que circulan en las autopistas de cuota de acuerdo con la composición vehicular.

Por ejemplo la Korean Highway Corporation clasifica las clases vehiculares principalmente por la cantidad de pasajeros que transportan y por el peso de la carga transportada. En la Tabla 3.6 se tiene esta información.

Categoría	Vehículo
1	. Sedan . Autobús para 16 pasajeros . Camiones de carga de 2.5 M/T
2	. Autobuses de 17 a 32 pasajeros . Camiones de carga de 5.5 – M/T
3	. Autobuses de mas de 33 pasajeros . Camiones de carga de 5.5 – 10 M/T
4	. Camiones de carga de 10 – 20 M/T
5	. Camiones de carga de 20/ M/t o mas

Tabla 3.6. Clases vehiculares por peso y eje en Korea. Elaboración propia con información proveniente de Hun H., An Application of Two – Part Tariff Pricing to Expressway: A case of Korea. (2000).

España y México, tienen afinidad en las clases vehiculares que circulan en sus autopistas y las clasifican de acuerdo con el número de ejes del vehículo. Estas clases vehiculares corresponden a:

1. Clase A (autos, pick-up, vans)
2. Clase B (autobuses de dos, tres y cuatro ejes)
3. Clase C (camiones de dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho y nueve ejes)

### 3.3.8.2. Clasificación vehicular en otros países

En 3.3.8.1., se han indicado para tres países su clasificación vehicular. Sin embargo, en otras partes cada país como lo ilustra la Tabla 3.7 hay países con parque vehicular distinto.

Categoría vehicular	Descripción	Brasil	Colombia	Chile	Argentina
1	Motos y motonetas			X	
1	Autos, camionetas o furgón	X	X		X
2	Autos y camionetas			X	
2	Bus, camión de dos ejes con o sin rueda doble	X			X
2	Camión de dos ejes con o sin rueda doble				X
3	Autos y camionetas con remolque			X	
3	Camión articulado de tres ejes	X	X		X
4	Buses de dos ejes			X	
4	Camión articulado de cuatro ejes	X			X
5	Camiones de dos ejes				X
5	Camión articulado de cinco ejes	X	X		
6	Buses de más de dos ejes			X	
6	Camión articulado de seis ejes con remolque	X	X		X
7	Camiones de más de dos ejes			X	
7	Camión articulado de siete ejes con semirremolque	X			
7	Camión de más de seis ejes				X
8	Camión articulado de ocho ejes con semirremolque	X			
9	Motocicletas y motonetas	X			

Tabla 3.7. Clases vehiculares en otros países. Elaboración propia con información proveniente: Los valores del peaje relativos, FLACSO, CEPAL (1999), Sociedad Concesionaria del bosque. Standard and Poors (2000), Chile., El pago por el uso de la infraestructura vial ferroviaria y portuaria concesionada al sector privado. Sánchez R., División de Recursos Naturales e Infraestructura. Chile (2003).

También se indica en la Tabla 3.7, que Brasil dispone de un parque vehicular mayor a los otros países. Otra observación se refiere a que predominan los autos, camionetas y los camiones articulados de tres y seis ejes en los cuatro países.

### 3.3.9. Identificación de las variables

La propuesta substancial de esta metodología es que involucra la selección de un conjunto apropiado de variables fundamentales a partir de otro que, es muy probable que incluya todas las variables importantes, pero seguramente no todas ellas son necesarias para modelar de manera adecuada dicho problema.

Para construir el (MTV) y mediante esta opción actualizar tarifas de cuota, se deben establecer las variables en función de criterios económicos relevantes. Se han considerado las siguientes variables:

- Tarifa de Cuota ( $TC$ )
- Tránsito Promedio Diario Anual ( $TDPA$ )
- Ingresos ( $I_{ng}$ )
- Costo de deterioro ( $CD$ )
- Costos por congestión ( $CC$ )

Las variables presentadas se identifican como cuantitativas, esto es, variables que se miden en una escala numérica.

### **3.3.9.1. Discriminación de variables**

Se han considerado las variables listadas en 3.3.9 por estar íntimamente relacionadas entre sí. Concretamente, para que ocurran los ingresos monetarios ( $I_{ng}$ ) en una autopista, se requiere la aplicación de una ( $TC$ ) a una unidad vehicular. Además, el tránsito vehicular ( $TDPA$ ) origina desgaste y/o deterioro en la infraestructura, por ello, se requiere su restauración de acuerdo a los programas de conservación y mantenimiento, recurriéndose a los ingresos originando así a costos de deterioro. ( $CD$ ) Por otro lado, la variable representada como costos por congestión ( $CC$ ) son aquellas generados por el incremento de los tiempos de traslado del usuario cuando hay presencia de vehículos adicionales. Es decir, la autopista se ve rebasada por la demanda vehicular.

Todas las variables seleccionadas deben estar plenamente identificadas con las cantidades y cifras en la Base de Datos.

### **3.3.9.2. Restricción en el proceso**

Si durante el proceso, se observa que las variables no cumplen con la apropiada estimación del modelo, se podrán proponer otras variables y continuar con los pasos siguientes e incluso cumplir con la validación del modelo obtenido.

### **3.3.10. Preparación de datos**

Con la intención de preparar y obtener los datos para cada variable, se procede con la siguiente secuencia:

#### **3.3.10.1. Observaciones**

Definir el número de observaciones para cada una de las variables (año de inicio y terminación del proceso).

Esto significa, delimitar el horizonte de estudio en función de los valores más representativos de las variables. Esto se refiere a descartar periodos de tiempo que involucren devaluaciones y/o inflaciones que dificulten la estimación del modelo.

### 3.3.10.2. Registros

Arreglar y conjuntar los registros en forma adecuada y en periodos anuales. La finalidad de estos periodos se debe a que los valores tarifarios generalmente son aplicados anualmente.

### 3.3.10.3. Tarifa de cuota e ingresos

Para estas variables, el arreglo de los datos resulta sencillo y sin complicaciones ya que la información proporcionada por la administración central es explícita.

### 3.3.10.4. Transito Diario Promedio Anual

Para determinar esta variable, se requiere conocer el tipo de terreno. Por ejemplo:

- i) Para un terreno plano, se procede a convertir los volúmenes del flujo vehicular y dividirlo entre 365 días del año.
- ii) Para tramos de autopista alojados en terreno tipo lomerío y/o montañoso, se tendrá que convertir (TDPA) a Transito Promedio Diario Anual Equivalente para considerar las condiciones prevalecientes. Para lógralo, se puede recurrir al Apéndice B de este documento para su determinación.

La conversión de unidades equivalentes se muestra en la Tabla 3.8. Se recomienda que el número de filas sea igual a los sub-periodos de análisis.

Categoría vehicular y Año en estudio	Flujo vehicular	Factor de equivalencia	Autos equivalentes en terrenos: montañoso, lomerío y plano	TDPA Equivalente (TDPAE)
--------------------------------------	-----------------	------------------------	--	--------------------------

Tabla 3.8. Formato para determinar el TDPA Equivalente. Elaboración propia con información del proceso

Información que debe contener la Tabla 3.8

En la 1ª. Columna se indica la categoría vehicular del año en estudio.

En la 2ª. Columna se escribe el flujo vehicular.

En la 3ª. Columna se indica el Factor de Equivalencia para el tipo de terreno. Recurrir al Apéndice B de este documento.

En la 4ª. Columna se registran los vehículos equivalentes.

En la 5ª. Columna se anota el Transito Diario Promedio Anual Equivalente (TDPAE).

### 3.3.10.5. Costo de deterioro (CD)

Es el costo relacionado con el mantenimiento necesario para cubrir el daño causado por los vehículos en la carpeta de rodamiento. Para determinar este parámetro, se requiere de conocer otras variables como son:

- I. El daño causado a la carpeta por la aplicación de un eje dual con un peso de 18,000 libras, llamado daño unitario (por eje equivalente km. (ESAL en inglés). La determinación de esta nueva variable se apoya en el Apéndice A de este documento. Se

precisa que el daño unitario (*DU*) incluye la sobrecarga que ejerce el vehículo sobre el pavimento. Cuando se tienen categorías vehiculares B de dos, tres y cuatro ejes y categorías vehiculares C de dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho y nueve y 9 ejes. Se debe ponderar el daño unitario para asignarlo a los vehículos B2 y C2 ya que estos vehículos circulan en mayor porcentaje. Para ponderar el (*DU*) se procede a utilizar los porcentajes del (*TDPA*) de cada uno de los autobuses y camiones.

- II. El (*TDPAE*) en términos de ESALs. Para obtener esta variable se necesita recurrir al Apéndice A de este documento.
- III. La inflación acumulada a partir del primer año del periodo ya que los costos de deterioro se incrementan. Por tanto se deben operar por los índices inflacionarios para su actualización.
- IV. Partiendo del (*DU*) el costo de mantenimiento por deterioro del camino se obtiene multiplicando el costo unitario por la longitud del tramo y por el número de ESALs correspondientes.

Para facilitar la obtención del costo de deterioro (*CD*) de la carpeta, se emplea la Tabla 3.9 en cuyas columnas se indican los datos. Aquí también se recomienda que el número de filas sea igual al sub-periodo de análisis.

<i>(TDPA)</i> por tipo de vehículo y periodo de Estudio	Equivalencia ESALs ( <i>DU</i> )	<i>(TDPAE)</i> en ESALs	Veh – km / día ESALs (10) <sup>3</sup>	Costo de deterioro por Veh – km Inflación	Costos mantenimiento por día (\$/día)	Costo por año para mantenimiento (\$)
--	--	-------------------------------	---	---	--	--

Tabla 3.9. Formato para determinar el costo de deterioro de la carpeta. Elaboración propia con información del proceso.

#### Información requerida en Tabla 3.9

- En la 1ª columna se indica el *TDPA*.
- En la 2ª columna se registra el (*DU*).
- En la 3ª columna se tiene el resultado de multiplicar el *TDPA* por el (*DU*).
- En la 4ª columna se registra el resultado de operar el valor de la 3ª columna por la longitud del tramo de la autopista.
- En la 5ª columna se indica la inflación acumulada por el valor del costo de deterioro.
- En la 6ª columna se coloca el resultado de operar los valores de la 4ª y 5ª columna.
- Finalmente, la 7ª columna indicará el (*CD*) por año.

De acuerdo con las operaciones que se pretenden realizar, para obtener la información en cada columna podrán resultar algunas expresiones o ecuaciones genéricas, las cuales conviene expresar para complementar el proceso.

### 3.3.10.6. Costos por Congestión (CC)

Es el costo medio por usuario, puede expresarse como una función del volumen total de vehículos en la autopista.

Una opción para la determinación de esta variable es utilizar la propuesta de Ginés de Rus, *et al*, (2005). Es decir, se requiere de conocer los volúmenes vehiculares que transitan y compararlos con la capacidad de la infraestructura y observar si se ha rebasado o no el umbral de dicho proyecto.

Los conceptos anteriores están asociados con el criterio de Friedrich Von Wieser (1914), llamado Costo de Oportunidad. O sea, cuando una persona decide desplazarse entre un origen y un destino, invierte un recurso escaso llamado tiempo. El tiempo de viaje consumido por el usuario se traduce en precio de oportunidad como una alternativa disponible de inversión.

Por otro lado, la inclusión de los costos del tiempo en los costos de los usuarios permite analizar problemas relacionados con la congestión del tráfico. Este fenómeno se produce cuando existen limitaciones de capacidad de la infraestructura. Por lo tanto, la presencia de usuarios adicionales hace aumentar los costos de tiempo a aquellos que soportan la vía.

Los conceptos anteriores se pueden entender fácilmente mediante la Figura 3.3. Aquí, ( $q$ ) representa el número de vehículos que circulan simultáneamente en la autopista y ( $q_o$ ) significa la capacidad vehicular de la infraestructura. ( $CM_{es}$ ) y ( $CM_{as}$ ), representan los costos medios sociales y los costos marginales respectivamente.

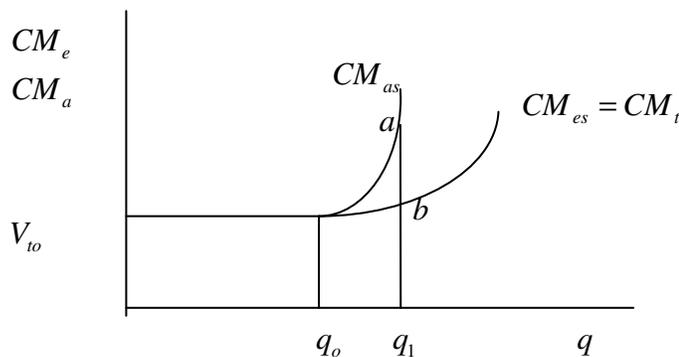


Figura 3.3. Representación gráfica de circulación de vehículos en una autopista. Fuente: Ginés de Rus (2005). Economía del transporte.

### 3.3.10.7. Situaciones particulares de flujo vehicular

Ginés de Rus, *et al*, (2005), dice que si  $q < q_o$ , no existen condiciones de congestión vehicular y el costo por circular está regido por el valor del tiempo base que emplea el usuario. El costo vehicular se puede determinar con:

$$C = vt_o \quad [3.6]$$

Donde:

$v$ , es el valor del tiempo del usuario cuando efectúa un viaje.

$t_o$ , corresponde al tiempo que consume el usuario en dicho viaje. Expresado en horas.

También propone que si  $q > q_o$ , la capacidad de la infraestructura se ve rebasada por la incorporación de vehículos adicionales. En estas condiciones el costo por circular se calcula con:

$$C = vt(q) \quad [3.7]$$

Donde:

$vt$ , está en función de  $q$

La explicación de [3.7], se encuentra en la gráfica de la Figura 3.3. Es decir, al hablar del costo (de los usuarios) por congestión, se entiende que a partir de un determinado nivel de tráfico ( $q_o$ ) en la carretera la incorporación de usuarios adicionales incrementa el costo medio de todos los usuarios. Por esta razón  $t(q)$  representa el tiempo de viaje como función (creciente) de ( $q$ ).

En tales condiciones se deben conocer los siguientes datos:

- a) Flujo vehicular mayor a la tasa de flujo permitida (para que exista congestión).
- b) La velocidad reducida de traslado.
- b) Tiempos por reducción de velocidad.
- c) Ocupación vehicular.
- d) Salarios de los usuarios.

De acuerdo con lo requerido anteriormente, resulta evidente que para obtener los costos por congestión se debe aplicar la siguiente expresión:

$$CTU = \frac{(q) * (OV) * t * IP}{JTr} \quad [3.8]$$

Donde:

$CTU$ , Es el costo del tiempo de los usuarios cuando se tiene congestión, expresado en (\$).

$q = \text{flujo.vehicular} > \text{tasa.vehicular}$ , expresado en (v/h/carril).

$OV$  es la ocupación vehicular y representa el número promedio de pasajeros incluido el conductor

$t$ , es el valor del tiempo de traslado expresado en horas.

$JTr$  es la jornada de trabajo siendo un tiempo oficial de labor de ocho horas.

### 3.3.11. Conjunto de datos

Se podrá realizar un resumen de datos en forma tabular como el que se indica en la Tabla 3.10 para observar el comportamiento de los datos históricos de cada variable en los años de estudio.

Año	Tarifa de cuota	Ingresos	<i>TDPA</i> Equivalente	Costos de deterioro	Costos de congestión
-----	-----------------	----------	----------------------------	---------------------	----------------------

Tabla 3.10. Formato para datos requeridos para obtener el modelo. Elaboración propia con información proveniente del proceso.

### 3.3.12. Métodos de modelación

La mayoría de los métodos utilizados en la modelación, buscan principalmente dependiendo del problema a resolver como: maximizar o minimizar la función objetivo reduciéndose el error de aproximación. A continuación se realiza una exposición relacionada de métodos alternativos para obtener un modelo tarifario. Se indican sus ventajas y desventajas y con ello decidir la mejor opción para su utilización.

#### 3.3.12.1. Programación Lineal – El problema del transporte

De acuerdo con Santori G., (2005), La Programación Lineal (PL) es una de las principales ramas de la Investigación de Operaciones. En esta categoría se consideran todos aquellos modelos de optimización donde las funciones que lo componen. Básicamente, una función objetivo y sus restricciones son funciones lineales en las variables de decisión.

La solución de un problema de (PL) consiste en determinar el nivel de cada actividad que está siendo considerada, una solución factible es una en la cual se satisfacen todas las restricciones. Por otro lado, el método en cuestión considera que los parámetros asociados al modelo son conocidos con certeza absoluta.

Para un ejemplo (Figura 3.4) en particular propuesto por Nicholson C., (2000), y que, consiste en decidir cuántas unidades trasladar desde el origen a dos destinos o centros de distribución, de modo de minimizar los costos de transporte, dada la oferta y demanda en dichos puntos.

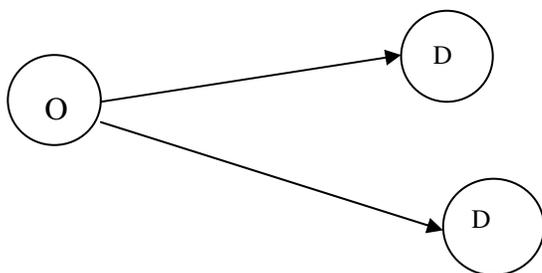


Figura 3.4. Representación de un Origen – dos Destinos. Fuente: elaboración propia con información de Nicholson C., (2000)

Para dicho problema se puede plantear lo siguiente:

$O$  = número de orígenes = 1

$N$  = número de destinos = 2

$a_{ij}$  = costo de transporte por unidad de mercancía desde el origen  $i$  hasta el destino  $j$

$b_i$  = número de unidades de mercancías en el origen  $i$

$c_j$  = número de unidades que se deben de transportar al destino  $j$

$x_{ij}$  = número de unidades de mercancía que hay que transportar.

Si la demanda y el stock son iguales se tendrá:

$$\sum_i b_i = \sum_j c_j$$

El problema se formula de la siguiente manera:

$$\text{Minimizar } z = \sum_{ij} a_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a las restricciones:

$$\sum_j x_{ij} = b_i \dots i \in I$$

$$\sum_i x_{ij} = c_j \dots j \in J$$

$$x_{ij} \geq 0 \dots \forall_{ij}$$

En vista de que la solución de un problema de Programación Lineal consiste en determinar el nivel de las dos actividades que están siendo consideradas, una solución factible es aquella en la cual se satisfacen todas las restricciones. Sin embargo, los supuestos de PL no siempre se satisfacen cabalmente en la realidad. Algunas de las enfrentadas son de certeza, satisfaciendo los supuestos que requiere la técnica, pero también hay situaciones de riesgo o incertidumbre.

### 3.3.12.2. Ventajas del uso de (PL)

A continuación se mencionan en la Tabla 3.11 algunas características de (PL que le permiten ser utilizada cuando se trata de obtener resultados de problemas prácticos de optimización.

No.	Ventajas	Observaciones
1	La Programación Lineal es una de las herramientas más utilizadas en la Investigación de Operaciones.	Por su naturaleza se facilitan los cálculos y en general permite una buena aproximación de la realidad.
2	(PL), considera que los parámetros asociados al modelo son conocidos con certeza absoluta.	Es clasificado como Modelo Determinista (MD por sus siglas).
3	Es un procedimiento o algoritmo matemático de optimización para resolver problemas de asignación eficiente de recursos limitados.	Resuelve problemas indeterminados a través de ecuaciones lineales.
4	Indica al administrador como emplear eficazmente sus factores, seleccionándolos y distribuyéndolos adecuadamente.	
5	Permite al administrador ser mas objetivo en sus decisiones por la posibilidad de formular matemáticamente el problema.	
6	De acuerdo con Johnson F., <i>et al.</i> , (2001), el método de (PL) proporciona el plan óptimo junto con el valor de la función objetivo. Además aporta un conjunto de resultados adicionales tan o más útiles que el mismo plan; ofrece información valiosa para la toma de decisiones, que los demás métodos de planificación no están en condiciones de proporcionar.	Por cada uno de los procesos iterativos, el administrador analiza y decide las áreas que deben apoyarse o no con relación a recursos disponibles.

Tabla 3.11. Ventajas de la PL. Fuente: Coronel M. "programación aplicada" (2004).

### 3.3.12.3. Desventajas de (PL)

En algunos casos el uso de (PL) puede tener desventajas como las que se mencionan en la Tabla 3.12

No.	Ventajas	Observaciones
1	No formula expectativas de precios.	Estos datos son conocidos para resolver el problema.
2	No estima las relaciones insumo-producto.	Debe contarse con los datos de cantidad y distribución de mano de obra, tierra y capital necesarios.
3	No resuelve situaciones de riesgo.	La Programación Lineal se basa en el supuesto de la certeza de los datos, esto es, se suponen confiables los datos de precios, producciones, requerimientos.

Tabla 3.12. Algunas desventajas de (PL). Fuente: Coronel M., (2004). "programación aplicada"

### 3.3.12.4. Conclusiones sobre el uso de (PL)

Tomando como referencia los puntos anteriores y considerando que las variables empleadas en esta investigación (motivo de esta Tesis), toman valores de un conjunto especificado y que únicamente se tiene una sola actividad que consiste en determinar la tarifa de cuota mediante un modelo; se puede

prescindir el uso de (PL). Es decir, en el supuesto de plantear el problema de que un vehículo salga de un origen “O” hacia un destino “D”, como se observa en la Figura 3.5. Este tiene dos opciones para su traslado: utilizar la carretera alterna o la autopista de cuota. En este caso, el usuario tiene el recurso de pagar por el derecho de uso del proyecto, presentándose la única alternativa de la actividad. Por lo tanto, no hay restricciones que son las que se necesitan para aplicar (PL).

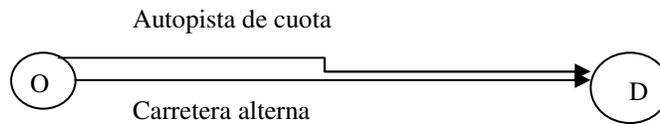


Figura 3.5. Representación de un Origen y un Destino. Fuente: elaboración propia con información del proceso.

### 3.3.12.5. Redes Neuronales

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA), han sido aplicadas para desarrollar modelos complejos en diferentes áreas del conocimiento, incluyendo tareas como: filtrar información, identificar datos, controlar sistemas y predecir fenómenos físicos. Rafiq M. *et. al*, (2001), definen la diferencia entre los métodos estadísticos tradicionales y la (RNA). Las soluciones computacionales usualmente se basan en ecuaciones establecidas mediante una clara identificación del problema. Los algoritmos, códigos o rutinas normalmente establecen procesos explícitos o tareas paso a paso para encontrar la solución al fenómeno. Estos procedimientos ofrecen buenos resultados cuando existen reglas relacionadas con los problemas perfectamente definidos. Sin embargo existen situaciones en las que intervienen otras variables no fáciles de obtener.

Las (RNA), son herramientas muy poderosas y complejas que pueden producir buenas aproximaciones para los cuales hay relativamente pocos conocimientos, por lo que generalmente son modelos basados en la experiencia de una serie de datos de entrenamiento.

### 3.3.12.6. Funcionamiento de una Neurona Artificial

De acuerdo con Lizarazo J., (2001), una neurona artificial es en un modelo computacional que por su arquitectura intenta imitar las relaciones del comportamiento del cerebro. Consiste de un número limitado de elementos interconectados entre sí, distribuidos en una capa de entrada, una o más capas ocultas como se observa en la Figura 3.6

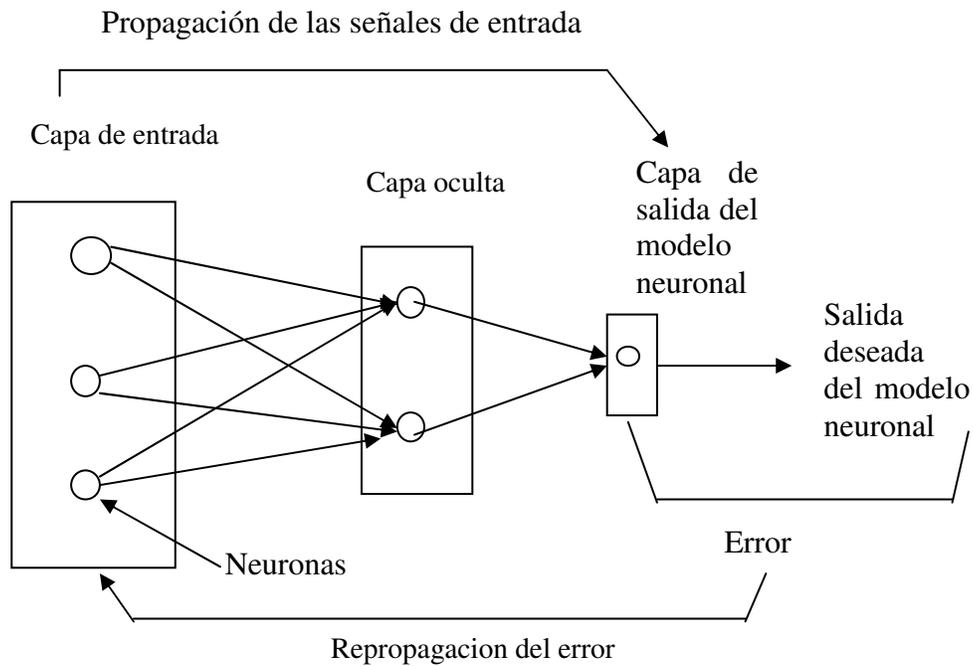


Figura 3.6. Topología, Modelo de redes Neuronales. Fuente: Lizaraso J., (2006), Desarrollo de un modelo de Redes Neuronales para predecir la resistencia a la compresión y la resistividad del concreto.

Dentro de una red, la entrada a una neurona corresponde a un valor numérico definido como un escalar  $p$  que a su vez es multiplicado por un peso  $w$  para generar un producto  $wp$ , también escalar. Para generar una salida escalar  $a$  de una neurona, es necesario evaluar una relación conocida como función de transferencia  $f$  que en ocasiones puede estar influenciada por un sesgo definido por un escalar  $b$  denominado ‘bios’. Dependiendo si la neurona tiene o no un escalar como sesgo, se define  $n$  como el argumento de la función, tal como se observa en la Figura 3.7. Cada neurona recibe una entrada ponderada  $wp$  de otras neuronas y comunica sus salidas a otras neuronas mediante una función de activación o de transferencia.

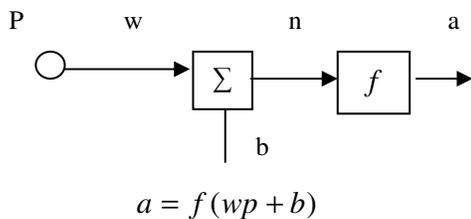


Figura 3.7. Elementos de una neurona. Fuente: Fuente: Lizaraso J., (2006), Desarrollo de un modelo de Redes Neuronales para predecir la resistencia a la compresión y la resistividad del concreto.

La función de transferencia  $f$ , corresponde a una escalonada, lineal o sinusoidal, que utiliza  $n$  como argumento y genera como salida al escalar  $a$ . Los escalares  $w$  y  $b$ , pueden ser

ajustados dentro de la neurona de tal manera que la red presente algún comportamiento deseado, es decir, entrenar a la red para obtener salidas deseadas.

Una función escalón se utiliza cuando las salidas de la red corresponden a valores binarios. Se utiliza la salida 0, si el argumento de entrada es menor a cero, o se obtiene una salida de 1 si  $n$  es mayor o igual que 0. Este tipo de funciones se usa para crear neuronas con tareas de clasificación o toma de decisiones.

Cuando una neurona tiene varias entradas, definidas por un vector tal como se observa en la figura 3.8, el valor del argumento  $n$  de la función de transferencia, se define como:

$$n = w_{1,1}p_1 + w_{1,2}p_2 + \dots + w_{1,R}p_R + b \quad [3.9]$$

Donde:

$R$ , corresponde al número de elementos en el vector de entrada.

Generalmente una (RNA) es creada en dos fases comúnmente referenciadas como la fase de entrenamiento y la fase de validación del modelo respectivamente. Normalmente los pesos de la red son inicializados como valores aleatorios.

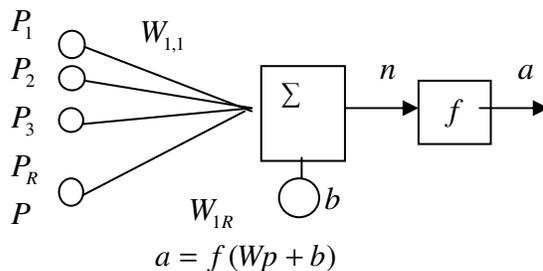


Figura 3.8. Representación de los elementos de una neurona. Fuente: Fuente: Lizaraso J., (2006), Desarrollo de un modelo de Redes Neuronales para predecir la resistencia a la compresión y la resistividad del concreto.

De acuerdo con Lizarazo J., (2001), las (RNA) para la obtención de buenos resultados se requiere:

- Durante la fase de entrenamiento o aprendizaje, la muestra que contiene tanto los datos de entrada como los datos de salida deseados, es procesada para optimizar las salidas de la red en orden de minimizar el error entre los valores objetivos y las salidas del modelo.

Uno de los algoritmos de aprendizaje más utilizados en aplicaciones de ingeniería, es el algoritmo conocido como “back – propagation”. De acuerdo con Hilera J., *et al.*, (2006), este tipo de (RN), utiliza un procedimiento de retropropagación. Consiste de un método de aprendizaje de un conjunto predefinido de entradas y salidas empleando un ciclo de propagación – adaptación de dos etapas.

1. Se aplica un patrón de entrada como estímulo para la primera etapa de las neuronas de la red, se va propagando a través de todas las capas superiores hasta generar una salida, se compara el resultado con el objetivo que se desea obtener y se calcula un valor de error para cada neurona de salida.

2. Los errores se transmiten hacia atrás, partiendo de cada salida, hacia todas las neuronas de las capas intermedias que contribuyan directamente a la salida. Basándose en el valor del error, se reajustan los pesos de cada neurona, de manera que la salida cada vez esté más cercana a la deseada.

- La fase de validación tiene por objeto validar que la arquitectura de la red propuesta sea capaz de modelar adecuadamente el fenómeno que se está validando.

Una característica más importante de una (RN) “back – propagation” es que permite aproximar una función con un número importante de discontinuidades.

Las (RNA), son sistemas paralelos distribuidos, compuestos por unidades de procesamiento simple (nodos) que calculan determinadas funciones (normalmente no lineales). Estas unidades normalmente son conectadas por canales de comunicación que están asociados con determinado peso. Las unidades hacen operaciones apenas sobre sus datos locales, que son entradas recibidas por sus conexiones.

El comportamiento inteligente de una (RNA) viene de las interacciones entre las unidades de procesamiento de la red.

### 3.3.12.7. Criterios para escoger la mejor red

De acuerdo con Rengifo C. *et al.*, (2002), la modelación de la (RNA) consiste básicamente de dos etapas: 1) Entrenamiento y validación de la red a través de la presentación de ejemplos; y 2) La prueba y verificación de su desempeño. La verificación del desempeño de una red es hecha utilizándose un conjunto de datos que no fue empleado durante su entrenamiento. Evidentemente, ese conjunto de datos debe ser una muestra representativa del problema de estudio. En caso de que el resultado obtenido no sea el satisfactorio, una nueva topología es escogida y el ciclo repetido.

El desempeño de las (RNA) puede ser medido por diversas medidas de evaluación: el error relativo absoluto medio (ERAM) y el coeficiente de determinación  $R^2$ .

$$ERAM = \frac{\sum \left| \frac{O - E}{O} \right|}{n} \quad [3.10]$$

Donde:

$O$ , es el valor observado

$E$ , es el valor estimado

$n$ , es el número de observaciones

### 3.3.12.8. Ventajas de las (RNA)

Las (RNA), tiene muchas ventajas debido a que están basadas en la estructura del sistema nervioso. Las características de las (RNA) las hacen bastante apropiadas para aplicaciones en las que no se dispone a priori de un modelo identificable que pueda ser programado, pero se dispone de un conjunto básico de ejemplos de entrada (previamente clasificados o no). Asimismo, son altamente robustas tanto

al ruido como a la disfunción de elementos concretos y son fácilmente paralelizables. En la Tabla 3.13 se indican algunas ventajas de la (RNA).

No		
1	Modela matemáticamente (con distintos grados de formalismo) el problema en cuestión y posteriormente formular una solución (programa) mediante un algoritmo codificado que tenga una serie de propiedades que permitan resolver dicho problema.	Se puede expresar una función de transferencia como: $a = f(wp + b)$ Donde: $a$ , es un escalar; $w$ , corresponde a los pesos ajustados; $p$ , es un valor numérico y $b$ , es un escalar.
2	Las (RNA) tienen la habilidad de aprender mediante una etapa que se llama <i>etapa de aprendizaje</i> . Esta consiste en proporcionar a la (RNA) datos como entrada a su vez que se le indica cuál es la salida (respuesta) esperada.	
3	Muchas técnicas matemáticas muestran sus limitaciones a problemas concretos de ingeniería (modelos basados en ecuaciones y parámetros a ser estimados).	Los problemas reales y complejos se pueden resolver con (RNA).
4	<b>Auto organización:</b> Una (RNA) crea su propia representación de la información en su interior, descargando al usuario de esto.	
5	<b>Tolerancia a fallos:</b> Debido a que una (RNA) almacena la información de forma redundante, ésta puede seguir respondiendo de manera aceptable aun si se daña parcialmente.	
6	<b>Flexibilidad:</b> Una (RNA) puede manejar cambios no importantes en la información de entrada, como señales con ruido u otros cambios en la entrada (por ejemplo si la información de entrada es la imagen de un objeto, la respuesta correspondiente no sufre cambios si la imagen cambia un poco su brillo o el objeto cambia ligeramente).	
7	<b>Tiempo real:</b> La estructura de una (RNA) es paralela, por lo cual si esto es implementado con computadoras o en dispositivos electrónicos especiales, se pueden obtener respuestas en tiempo real.	De acuerdo con Moya F. <i>et al.</i> , (2000), es importante destacar que esta característica solo se aprecia cuando se implementan redes con hardware especialmente diseñado para el procesamiento en paralelo.

Tabla 3.13. Ventajas de las RNA. Fuente: elaboración propia con información de: Lizarazo J., "Desarrollo de un modelo de redes neuronales para predecir la resistencia a la compresión y la resistividad eléctrica del concreto", (2006). Gutiérrez J., "Introducción a las redes neuronales", (2000)

### 3.3.12.9. Desventajas de las (RNA)

De acuerdo con Gutiérrez J., (2000), la definición de Inteligencia Artificial (IA), implica las siguientes consideraciones: a) Se desarrollan equipos de cómputo creados por el hombre; b) Se utilizan métodos y algoritmos que permiten a las computadoras comportarse de modo inteligente. Estos puntos dan origen a muy pocas desventajas que poseen las (RNA) indicados en la Tabla 3.14

No.	Desventajas	Observaciones
1	La aproximación basada en las (RNA) parte de un conjunto de datos de entrada suficientemente significativo y el objetivo es conseguir que la red aprenda automáticamente las propiedades deseadas.	Para el aprendizaje se requieren de un conjunto importante de valores.  Para la validación, se requieren otros valores que no estén integrados en el aprendizaje.
2	Padecen de falta de Hardware. La capacidad de las (RNA) radica en su habilidad de procesar información en paralelo (esto es, procesar múltiples pedazos de datos simultáneos).	
3	Desafortunadamente las maquinas “serie” solo ejecutan una instrucción a la vez. Por ello modelar procesos en paralelo en maquinas de este tipo puede ser un proceso que consuma mucho tiempo.	
4	Otro problema con las (RNA) son la falta de reglas definitorias que ayuden a construir una red para un problema dado, hay muchos factores a tomar en cuenta: el algoritmo de aprendizaje, la arquitectura, el número de neuronas por capa, el número de capas, la representación de los datos y el de la llamada caja negra.	No es posible en (RNA) detectar las variables que forman parte del modelo.
5	Las (RNA) han sido aplicadas a un número en aumento de problemas en la vida real y de considerable complejidad, donde su mayor ventaja es en la solución de problemas que son bastante complejos para la tecnología actual.	Existen problemas que no tienen una solución algorítmica o cuya solución algorítmica es demasiado compleja para ser encontrada.
6	En general, debido a que son parecidas a las del cerebro humano, las (RNA) son bien nombradas ya que son buenas para resolver problemas que el humano puede resolver pero las computadoras no.	El ser humano tiene capacidad para el reconocimiento de patrones, pero la capacidad de las redes neuronales no se ve afectada por la fatiga, condiciones de trabajo, estado emocional, y compensaciones.

Tabla 3.14. Desventajas de las RNA con respecto a modelos estadísticos. Fuente: Elaboración propia con información de Gutiérrez J., “Introducción a las redes neuronales”

### 3.3.12.10. Modelos de (RNA)

Existen varios modelos diferentes de redes neuronales. Cada uno de ellos ha sido diseñado para fines más o menos específicos, no obstante, existen varios que han ganado gran popularidad (Hilera, 1995). Aquí se mencionan dos de ellos junto con sus características:

a) Back – Propagation, es un modelo potente y el más popular con aplicaciones exitosas como: control de robots, predicción y reconocimiento de patrones. Requiere de mucho tiempo para el aprendizaje y un buen número de ejemplos. Fue creado por Werbos P., Parker D. y Rumelhart D., en 1974 a 1985.

b) Perceptron, es el modelo más antiguo, ya que fue creado en 1957 por Rosenblatt F., y se aplica a la optimización, codificación de datos y reconocimiento de patrones.

### 3.3.12.11. Comentarios y observaciones

Para el caso de esta investigación y de acuerdo con las variables discriminadas para obtener un (MTV) que son: Tarifa de cuota ( $TC$ ), Ingresos ( $I_{ng}$ ), Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente ( $TDPAE$ ), Costo de deterioro ( $CD$ ) y Costos por congestión ( $CC$ ) en las que sus datos muestran tendencias lineales, la aplicación de una (RNA) a esta información, resulta excedida por su diseño avanzado.

Por otro lado, la investigación está enfocada a determinar un modelo que permita reducir la tarifa de cuota cuando se incrementa el tráfico vehicular. Por lo tanto, el empleo de una (RNA) implicaría plantear otras variables como por ejemplo: Determinar la tarifa promedio en función del volumen vehicular, velocidad y Costos de Operación Vehicular. Esto traería como consecuencia otro modelo tarifario. De acuerdo a lo anterior, se tendría: a) **Variables de entrada** como: volumen vehicular, velocidad, costos de operación vehicular; y b) **Variable de salida** como: tarifa de cuota media.

### 3.3.12.12. Teoría de la Regresión Múltiple (RM)

De acuerdo con Wooldridge J., (2010), el empleo de la (RM), permite determinar la relación de dependencia que tiene una variable respecto a otras. Es decir, se puede plantear el siguiente modelo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + u \quad [3.11]$$

Donde:

$Y$ , es la variable dependiente

$\beta_0$ , es el intercepto

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$ , son los parámetros asociados con las variables independientes:  $X_1, X_2, \dots, X_i$ . Es decir,  $\beta_1$  mide el efecto de  $X_1$  sobre  $Y$  cuando todos los demás factores en  $u$  permanecen constantes, y así sucesivamente.

$$u = Y_1 - Y$$

### 3.3.12.13. Ventajas del uso de (RM)

El empleo de la (RM) como método de modelación, ofrece grandes ventajas para obtener modelos. En la Tabla 3.15 se mencionan algunas de estas:

No.	Ventajas	Observaciones
1	Predice un dato desconocido partiendo de datos de otras variables.	De acuerdo con las tendencias anuales del tráfico vehicular, se puede estimar el valor de la ( $TC$ ) que debería aplicarse para estas nuevas condiciones vehiculares.
2	Ajusta la distribución de frecuencias de una línea.	Se determina la forma de la línea de regresión.
3	Es un procedimiento estadístico que busca establecer una relación directa o inversa entre dos o más variables.	En este caso la ( $TC$ ) que es la variable dependiente), se relaciona con: ( $I_{ng}, TDPA, CD$ y $CC$ ) denominadas variables independientes.
4	Es la técnica de dependencia más usada en análisis multivariante.	Siempre que las observaciones mantengan una tendencia lineal o aproximada
5	Se relaciona en gran medida con la estimación de la media (de la población) o valor promedio de la variable dependiente, con base en los valores conocidos o fijos de las variables explicativas.	Expresado matemáticamente se escribe como: $E(Y / X)$
6	Se dispone de extensa paquetería de cómputo que facilita la obtención de modelos.	
7	El planteamiento de un (MR) es sencillo y altamente comprensible.	
8	El supuesto clave de la (RM), se establece en términos de la esperanza condicional que es un supuesto clave de este método.	Es decir, el valor promedio de $u$ , conocidos los valores de $X_1, X_2, \dots, X_i$ , debe ser igual a cero. O sea: $E(u   X_1, X_2, \dots, X_i) = 0$  Para el caso de esta investigación: $E(u   I_{ng}, TDPAE, CD, CC) = 0$

Tabla 3.15. Ventajas de la Regresión Múltiple. Fuente: elaboración propia con información de Orellana L., “Análisis de regresión” (2008), Aldrete A., “Fundamentos del Análisis de regresión Logística (2006), Wooldridge J. Introducción a la Econometría, (2010).

### 3.3.12.14. Desventajas de (RM)

De acuerdo con Vela I., (2003), la Regresión Múltiple asume ciertos requerimientos para efectuar y cumplir con el objetivo principal que es la de obtener modelos que a partir de las relaciones causales de una variable dependiente (la que se supone que es el resultado de la influencia o comportamiento de otras variables), permitan predecir un resultado conociendo el valor estimado de dichas variables. A continuación se citan algunos de estos requerimientos en la Tabla 3.16.

No.	Concepto	Observaciones
1	Debe emplearse y seguirse la metodología ya establecida para cumplir con su estimación.	a) Graficar los datos; b) Formular el modelo general ;c) Estimar los parámetros; d) Determinar la relación existente entre las variables; e) Prueba de significancia; e) Estimar el coeficiente de regresión estandarizado; f) Verificar la certeza de la predicción ; g) Examinar los residuos; y h) Validar el modelo.
2	Se debe examinar si existe una relación lógica entre las variables: dependiente e independientes	Encontrar las relaciones lógicas implica: observación, inteligencia, experiencia e intuición
3	El modelo obtenido con (RM), debe tener suficiente significancia.	El considerar el término significancia implica utilizar términos comparativos de dos hipótesis.  Por ejemplo, la $H_0$ (hipótesis nula) representa la afirmación de que no hay asociación entre las dos variables estudiadas y la $H_a$ (hipótesis alternativa) afirma que hay algún grado de relación o asociación entre las dos variables.
4	Evitar la inclusión de variables irrelevantes que encubran el efecto de variables más útiles.	En el caso del Modelo Tarifario Vehicular (MTV), utilizar variables relacionadas con los efectos producidos por estos vehículos.
5	La omisión de variables relevantes pueden distorsionar el modelo.	
6	Únicamente enfrenta problemas muestrales ya que en la práctica solamente se tienen valores de $Y$ que corresponden a algunos valores fijos de $X$ y por lo tanto no se podría estimar en forma precisa la Función de Regresión Poblacional.	En esas condiciones no se podría estimar en forma precisa la Función de Regresión Poblacional.
7	Se debe considerar una perturbación estocástica $u_i$ que es un sustituto de las variables omitidas en el modelo pero que pueden afectar a la variable dependiente.	Difícilmente se puede lograr se incluyan todas las variables en un modelo por:  a) Falta de información cuantitativa de las variables; b) Variable periféricas. Es decir, que la información cuantitativa de otras variables sea muy pequeña o no sistemática; c) Principio de parsimonia. Mantener un modelo lo más sencillo posible (se puede explicar sustancialmente el comportamiento de la tarifa de cuota, con las otras tres variables).

Tabla 3.16. Desventajas de la Regresión Múltiple. Fuente: elaboración propia con información de Orellana L., “Análisis de regresión” (2008), Aldrete A., “Fundamentos del Análisis de regresión Logística (2006), Wooldridge J. Introducción a la Econometría, (2010).

### 3.3.12.4. Justificación del empleo de (RM)

Esta investigación utilizará la Regresión Múltiple para obtener un Modelo Tarifario Vehicular (MTV) ya que ofrece grandes ventajas en su aplicación. (RM) es la técnica más usada en el análisis entre dos o más variables y sigue un procedimiento estadístico para estimar un valor promedio de la variable dependiente con base en valores conocidos de las variables explicativas. Esto se refiere a:

- a) Por cada unidad monetaria de los ingresos, se espera la afectación de la ( $TC$ ) en forma favorable.
- b) Por cada unidad vehicular que ingrese a la autopista y ejerza el pago por transitar, también se influya en la ( $TC$ ) . En el caso de los incisos a y b, se debe cumplir la Ley de la Oferta y la Demanda.
- c) Cada unidad vehicular genera un costo de deterioro a la carpeta de rodamiento que afecta a la ( $TC$ ) . En otras palabras, si un vehículo desgasta el pavimento debe pagar ese hecho.

### 3.4. Diseño del Modelo

De acuerdo con Gujarati D., (2005), se pueden utilizar los siguientes términos para definir:

Modelo Funcional:

$$Tarifa = f[TDPAE, I_{ng}, CD, CC] \quad [3.12]$$

Modelo Econométrico:

$$Tarifa = \beta_0 + \beta_1 TDPAE + \beta_2 I_{ng} + \beta_3 CD + \beta_4 CC \quad [3.13]$$

De acuerdo con Montgomery D., *et al.*, (2000), el método de la (RM) es útil por:

1. En la discriminación de las variables independientes se ha involucrado más de una. Además el diseño del modelo no genera complicaciones ya que la técnica referida es aplicable a problemas complejos y de diversa índole.

2. Se utiliza una ecuación de predicción en cuatro variables ( $X_1, X_2, X_3, X_4$ ), que permita pronosticar con bastante precisión los valores de  $Y$  a partir de los valores de  $X$  . En la ecuación anterior la variable  $Y$  es la tarifa de cuota y ( $X_1, X_2, X_3, X_4$ ), corresponden a Transito Diario Promedio Anual Equivalente ( $TDPAE$ ), Ingresos ( $I_{ng}$ ), Costos de deterioro ( $CD$ ), y Costos de congestión ( $CC$ ).

3. Se puede representar la ecuación de cuatro variables como:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 \quad [3.14]$$

En [3.14], se pueden utilizar y sustituir las variables: Tarifa ( $TC$ ) como la variable dependiente o de respuesta,  $TDPAE$  , ingresos ( $I_{ng}$ ), Costos de deterioro ( $CD$ ) y Costos de congestión ( $CC$ ) que son las variables independientes y representar el modelo de predicción de la siguiente forma:

$$TC = \beta_0 + \beta_1(TDPAE) + \beta_2(I_{ng}) + \beta_3(CD) + \beta_4(CC) + u \quad [3.15]$$

Donde:

$TC$ , es la variable de respuesta.  
 $TDPAE$ ,  $I_{ng}$ ,  $CD$  y  $CC$ , son las variables predictoras.

Por otro lado, se conoce que  $u$  es un error aleatorio que se distribuye normalmente con media cero y  $\sigma^2$  (Montgomery D., *et al.*, 2000). Por tanto, este error aleatorio está asociado a un par de valores de la variable dependiente y/o variable de respuesta ( $TC$ ), valores que son independientes en sentido probabilista por lo que, el valor esperado de  $u$  es cero. De aquí se puede afirmar que el valor esperado de la ( $TC$ ) para valores específicos de las variables predictoras está dado por [3.15].

[3.15] podrá expresarse como Modelo Estadístico Lineal en los parámetros  $\beta$ . Esta ecuación es la esencia del problema y permitiría determinar los modelos tarifarios para tres tipos de clases vehiculares: a) Categoría vehicular A (autos, pick – ups y vans); b) Categoría B (autobuses de dos, tres y cuatro ejes); y c) Categoría vehicular C (camiones de dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho y nueve ejes).

Para obtener [3.15] se recurre a un software que permita la estimación y resolución de modelos de distinta naturaleza mediante una amplia gama de procedimientos. Sin embargo, se puede utilizar cualquier paquete de cómputo cuyas características y diseño no impliquen limitación de emplearse en distintas áreas.

### 3.5. Obtención de una solución

La obtención de una solución del Modelo se hace con la intención de estimar [3.15] por el método MMC (Método de Mínimos Cuadrados). Este método ajusta la ecuación ya referida para quedar como:

$$TC = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1(TDPAE) + \hat{\beta}_2(I_{ng}) + \hat{\beta}_3(CD) + \hat{\beta}_4(CC) \quad [3.16]$$

Donde:

$\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3$  y  $\hat{\beta}_4$  Son los estimadores de los parámetros del modelo. Mediante un paquete de cómputo es posible el cálculo de los valores de estos estimadores que al ser sustituidos en [3.15], minimizan la suma de los cuadrados de las desviaciones ( $SCE$ ). Es decir:

$$SCE = \sum (TC_i - \hat{TC}_i)^2 \quad [3.17]$$

Esto es, ningún otro conjunto de estimadores para las  $\beta$  proporciona un  $SCE$  menor. Finalmente el Modelo puede ser expresado utilizando los valores de los estimadores:  $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3$  y  $\hat{\beta}_4$  que sustituidos en [3.16], proporciona la solución del Modelo.

### 3.6. Validación y prueba

Es necesario validar y probar el Modelo. A continuación se mencionan las ventajas de estas consideraciones.

### 3.6.1. Validación

- I. La validación del Modelo radica en examinar la solución mediante algunos criterios. Mathur K., *et al.*, (1996), sugiere revisar si los valores de las variables tienen sentido y propone las siguientes razones para hacerlo:
  - i) El Modelo podría no captar todas las limitaciones del problema real
  - ii) Ciertos aspectos del problema pudiesen haberse omitido o simplificado.
  - iii) Los datos pudiesen haberse estimado o registrado incorrectamente al introducirlos en la computadora.

Para cumplir con las consideraciones anteriores se debe construir la Tabla 3.17 indicando en las columnas la siguiente información:

Año y fechas de estudio	Tarifa observada	Tarifa estimada
-------------------------	------------------	-----------------

Tabla 3.17. Formato para observar la validación del modelo. Fuente: elaboración propia con información del proceso.

### 3.6.2. Confrontación de la información observada y estimada

La varianza como medida de variabilidad permite observar las desviaciones entre los datos. Esto significa que, se deben elevar al cuadrado las desviaciones entre la ( $TC$ ) observada y la estimada para obtener la varianza del error  $\sigma^2$ . En consecuencia si la varianza es pequeña, existirá una variabilidad pequeña, pero si es grande, entonces la variabilidad también lo es.

Una forma de realizar la confrontación entre las tarifas observadas y estimadas consistirá en utilizar [3.16] siempre que los estimadores  $\beta$  hayan sido determinados.

Sí los datos confrontados de ambas tarifas resultaran muy diferentes, se deben verificar con mayor precisión las condiciones i); ii) y iii), hasta que estos valores sean razonables y sensiblemente iguales. En caso de persistir grande la variabilidad en los resultados, proponer otras variables y continuar con los pasos siguientes hasta llegar a ésta etapa de confrontación.

### 3.6.3. Prueba

Para probar el (MTV) y de acuerdo con Gujarati D., (2007), se propone aplicar hipótesis para encontrar si los valores estimados en el modelo concuerdan con las expectativas de la Teoría que está siendo probada. Para tal confirmación o refutación, se recurre a la inferencia estadística para probar estos juicios.

Las hipótesis que pretenden confirmar la Teoría corresponden a:

- Prueba de Durbin – Watson.
- Prueba F.
- Probabilidad de aceptación de los parámetros  $\beta$  al 5% de significancia.
- Estadístico "t" de cada parámetro  $\beta$ .

La estimación completa y adecuada de un modelo, cumple con todas las hipótesis, sin embargo dependerá de las exigencias de los métodos de estimación y de cada evaluador.

### **3.7. Considerar las hipótesis para una solución válida**

En esta etapa se deben confirmar las hipótesis marcadas anteriormente. Estas pruebas de hipótesis y la estimación de intervalos requieren que los errores estén distribuidos normalmente. La realización de estas pruebas pertinentes indicará cuán adecuado es el Modelo que se propone de manera tentativa.

Si durante el proceso, se observa que las variables no cumplen con la apropiada estimación del (MTV), volver a proponer otras variables y con ello se vayan cumpliendo los pasos siguientes hasta llegar y satisfacer la validación del modelo.

Finalmente y concluidos cada una de las actividades indicadas en la Figura 3.1, en el siguiente capítulo se podrá efectuar la aplicación del procedimiento para la obtención de tres modelos tarifarios.

## 4. Aplicación de la Metodología

La metodología descrita en el Capítulo 3, se utilizó y aplicó en la autopista México – Cuernavaca, con la finalidad de desarrollar un modelo tarifario vehicular (MTV) que permita actualizar las tarifas de cuota (*TCs*) y cumplir con las expectativas de la administración del sistema carretero y de los usuarios.

La selección de esta infraestructura está basada en los argumentos siguientes:

- 1) Toda la información (ingresos, tarifas, composición vehicular, costos operativos, de mantenimiento, costos de deterioro y tránsito vehicular) ha sido obtenida en forma rápida y confiable.
- 2) Está ubicada en el Eje Cuatro del Sistema Carretero Nacional. Para ello, se propone la Figura 1.1
- 3) El Eje Cuatro une al Distrito Federal con el puerto turístico de Acapulco Gro. con el puerto industrial de Tuxpan Ver.
- 4) En este eje se encuentra el corredor, formado por la autopista México - Cuernavaca con una longitud de 57 km (km 0+23.00 al km. 0+80.00)
- 5) La autopista referida dispone de una carretera alterna de 52.50 km de longitud y esta acotada del km 0+18.70 al km 0+71.20. Dicha carretera alterna cumple con rentabilidad económica – social aunque no es de altas especificaciones.
- 6) La autopista México – Cuernavaca es un proyecto integrador ya que logra el acercamiento del Distrito Federal con otras ciudades.
- 7) Es una autopista tipo A 4 con dos carriles y un tercer carril de ascenso por sentido.
- 8) Soluciona problemas de congestionamiento en la vía alterna. El usuario puede decidir utilizar cualquier vía.
- 9) La autopista dispone de un trazo geométrico que mejora los índices de seguridad, mayor distancia de visibilidad y pendientes moderadas.
- 10) De acuerdo con (Ovalle H., 1997), la autopista es considerada de altas especificaciones por el diseño y materiales utilizados que intervinieron en su construcción. En labores de mantenimiento y mejoramiento en toda la infraestructura de esta ruta se ha aplicado nueva tecnología para considerarla de alta calidad.
- 11) Actualmente este proyecto dispone de otros servicios: médico, mecánico, venta de gasolinas y lubricantes, auxilio turístico y vigilancia.
- 12) Existen otros elementos que certifican la alta calidad de la autopista como:
  - a) Reduce los índices de siniestrabilidad.
  - b) opera con cero accidentes de trabajo.
  - c) Asegura la comunicación entre usuarios y operadores.
  - e) Ofrece servicios de primer nivel como: tiendas de productos diversos, venta de alimentos y bebidas limpias, información turística, baños limpios y seguros, áreas de descanso, cuenta con iluminación en algunos tramos y áreas.



Figura 4.1. Red carretera sujeta al cobro de peajes en México. Fuente: Treviño H., (2007), México.2030, Infraestructura para el futuro.

#### 4.1. Adquisición de datos

La autopista México – Cuernavaca es administrada por el organismo Caminos y Puentes Federales de Ingresos (CAPUFE), integrada a la administración federal que a su vez pertenece a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Para solicitar y adquirir los datos y cifras de los elementos técnicos y económicos del proyecto carretero referido se acudió a la dependencia oficial. Los datos se indican en la Tabla 4.1 así como los Apéndices y / o Anexos donde se localiza la información.

Concepto	Apéndice	Anexo
Tarifas de cuota ( <i>TC</i> ).		F
Flujo vehicular ( <i>TDPA</i> ).		A
Ingresos ( $I_{ng}$ ).		E
Costos de mantenimiento.	F	
Clases vehiculares.	E	
Factores de daño unitario ( <i>DU</i> ).	A	
Factores de Vehículos Equivalentes.	B	
Niveles de servicio.	E	

Tabla 4.1. Conceptos solicitados a la administración central. Fuente: elaboración propia con información del proceso.

#### 4.1.1. Datos generados

Los datos no disponibles fueron generados y obtenidos para tener la información suficiente del proyecto. Esto se observa en la Tabla 4.2

Concepto	Apéndice	Anexo
Costos operativos y administrativos.		H
Tasa de actualización.	H	
Niveles de servicio.	J	
Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente.		D
Costos de deterioro de la carpeta de rodamiento.		D
Inflación anual.	D	
Precios al consumidor.	G	

Tabla 4.2. Datos obtenidos de fuentes bibliográficas. Elaboración propia con información proveniente de: Cal y Mayor, R.; Cárdenas, J., Fundamentos y Aplicaciones de Ingeniería de Tránsito, 8ª Edición, Alfa y Omega. México 2007, Coss R., (1996) Análisis y evaluación de proyectos de Inversión, Limusa, México., Datos viales 1991, 2005., Tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial relativa a automóviles equivalentes para un análisis generalizado de segmentos de autopista y específicamente para proyectos carreteros construidos en zonas montañosas. Pavón L. (2004) Macroeconomía Aplicada, Mc Graw Hill.

## 4.2. Identificación de autopistas

Una autopista de cuota se considera rentable cuando los beneficios económicos del operador son mayores que los costos del proyecto. En todos los casos, los beneficios y costos deben ser traídos al presente. Para ello, se utiliza la técnica de evaluación denominada: Valor Presente Neto (*VPN*) y está expresada por [3.1].

#### 4.2.1. Ejemplo de aplicación

La autopista México – Cuernavaca, es un proyecto en operación y por estas condiciones se debe determinar su rentabilidad mediante un ejemplo de aplicación. Ver Anexo R.

### 4.2.2. Observaciones y comentarios al ejemplo del Anexo R

En Anexo R, se obtuvo un  $(VPN) = \$ 538'072, 522.00$ , es un valor positivo y superior de los movimientos económicos generados en el año 2005, esto indica una extraordinaria rentabilidad del proyecto. Similarmente, se determinó el  $(VPN)$  del año 2004, para observar el comportamiento del proyecto en ese año. Ambos resultados indican la rentabilidad de la autopista. Dichos valores se tienen en la Tabla 4.3. Por lo tanto, se puede continuar con la siguiente etapa del procedimiento.

Concepto	Valor del $(VPN)$ (\$)
$(VPN)_{2004}$	+ 361'057, 299
$(VPN)_{2005}$	+ 538'072, 522

Tabla 4.3. Valor del Valor Presente Neto obtenido en el año 2004. Fuente: elaboración propia con información del proceso de cálculo.

### 4.3. Identificación del tipo de terreno

Para cumplir íntegramente con esta fase, se zonificó el área donde está alojada la autopista. En la Tabla 4.4 se tienen las características del proyecto carretero:

Ruta	Kilometraje	Tipo de terreno	Longitud (km)
Sentido de México – Cuernavaca	0+23.00 - 0+25.00	Plano	2.00
	0+25.00 - 0+28.00	Montaña	3.00
	0+28.00 - 0+38.00	Lomerío	26.00
	0+38.00 - 0+80.00	Plano	42.00
Sentido de Cuernavaca - México	0+80.00 - 0+77.00	Plano	3.00
	0+77.00 - 0+67.00	Lomerío	10.00
	0+67.00 - 0+61.00	Montaña	6.00
	0+61.00 - 0+45.00	Lomerío	16.00
	0+45.00 - 0+23.00	Plano	22.00

Tabla 4.4. Zonificación de la autopista México – Cuernavaca. Fuente: elaboración propia con datos de campo.

La Tabla 4.4, muestra diferente topografía donde se aloja el proyecto. Predomina la condición plana. Sin embargo, en el sentido Cuernavaca – México se tiene una zona de montaña de seis kilómetros de longitud.

### 4.3.1. Condiciones de la autopista México – Cuernavaca

De acuerdo con la Tabla 4.4 las características geométricas, diseño y construcción de la autopista México - Cuernavaca está identificada por tres tipos de terreno:

- Terreno montañoso con una longitud de 6 km.
- Terreno tipo lomerío con una longitud de 26 km.
- Terreno plano con una longitud de 25 km.

Los datos anteriores corresponden al sentido Cuernavaca – México y se refieren a las condiciones críticas como es el caso del terreno montañoso del km 0+ 67.00 al km 0+61.00 (tramo la Pera). En este sentido el comportamiento del flujo vehicular es más denso. Sin embargo, en ese mismo tramo pero en el sentido de México a Cuernavaca varían las condiciones del terreno (plano) de manera que los vehículos que transitan en ese tramo facilitan su descenso y lo hacen con mayor fluidez.

### 4.4. Identificación de categorías vehiculares (Clase A)

Para la aplicación de la metodología se eligió en primer término la clase vehicular ligera (autos, panel, vans, pick-up) considerando que, estos vehículos transitan en un porcentaje importante en la mayoría de las autopistas como se señala en la Tabla 2.3 de este documento.

Para llevar a cabo la identificación de las categorías vehiculares, se estudió la información contenida en la Base de Datos de la administración y se encontró la existencia de tres clases vehiculares que circulan en la autopista México – Cuernavaca. Esta información se localiza en el Anexo A y corresponden a las categorías siguientes:

- Clase y/o categoría vehicular A, compuesta por autos ligeros (autos, pick – up, vans).
- Clase vehicular B, formada por vehículos de dos, tres y cuatro ejes.
- Clase vehicular C, conformada por vehículos de dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho y nueve ejes.

### 4.5. Identificación de variables

Para la obtención del Modelo Tarifario Vehicular (MTV), se ha recurrido a la selección de las variables fundamentales de la categoría vehicular A. Estas corresponden a:

- Tarifa de cuota para automóviles ( $TCA$ ).
- Ingresos ( $I_{ng}$ ).
- $TDPAE$ .
- Costo de mantenimiento por deterioro ( $CD$ ).
- Costo por congestión ( $CC$ ).

En el diagrama de flujo de la Figura 3.1 del Capítulo 3, aparecen identificadas dichas variables fundamentales para la obtención del (MTV). Aquí solamente se verificó que la variable predictora es la ( $TC$ ) y las variables explicativas son: ( $TDPAE$ ), Ingresos ( $I_{ng}$ ), Costo de deterioro ( $CD$ ) y Costos por congestión ( $CC$ ).

## 4.6. Preparación de datos

En esta etapa, se dispusieron y arreglaron los datos básicos para que fueran congruentes con las variables para el diseño de un modelo exclusivamente para la categoría vehicular A (autos, vans y pick - up). Asimismo:

- a) Se definió el número de observaciones anuales desde 1991 hasta el 2005.
- b) Se dispusieron los datos tal como aparecen a continuación:

### 4.6.1. Tarifas de cuota (*TC*)

Los datos de la tarifa de cuota asignada a la clase vehicular ligera aparecen en la Tabla 4.5 a partir de 1991 hasta el 2005. Dichas (*TC*) se aplicaron a los vehículos ligeros en la autopista México – Cuernavaca.

Año	Tarifa (\$)
1991	17
1992	20
1993	25
1994	25
1995	30
1996	38
1997	46
1998	50
1999	50
2000	68
2001	70
2002	75
2003	75
2004	80
2005	80

Tabla 4.5. Tarifas de cuota aplicadas a autos, pick – up y vans, autopista México – Cuernavaca. Fuente: elaboración propia con datos provenientes de SCT.

### 4.6.2. Ingresos ( $I_{ng}$ )

Los ingresos captados por la administración por la aplicación de tarifas de cuota (*TCs*) a los automóviles, pick- up y vans en la autopista México – Cuernavaca se han conformado en la Tabla 4.6. Dichos datos están indicados en pesos corrientes e incluyen el efecto de la inflación y se determinan utilizando la ecuación:

$$I_{ng} = (TDPA) * (PE) * 365 \quad [4.1]$$

Por ejemplo si se desea determinar los ingresos en el año 2005 generados por la clase vehicular A, se utilizan la siguiente información:

$$(TDPA) = 26, 241$$

$$(TC) \text{ Tarifa del año 2005} = \$ 80.00$$

$$\text{Días} = 365$$

Sustituyendo datos en [4.1], se obtiene:

$$I_{ng} = 26,241 * \$80.00 * 365$$

$$I_{ng} = \$766'239.00$$

Con el mismo proceso se han determinado los ingresos del año 1991 hasta 2004, tal como se indica en la Tabla 4.6

Año	Ingresos recaudados por el tránsito de la clase vehicular A (\$)
1991	105'875,915
1992	139'415,400
1993	182'025,500
1994	194'316,875
1995	203'746,650
1996	250'339,630
1997	301'867,410
1998	349'962,000
1999	426'371,100
2000	493'992,460
2001	563'147,550
2002	633'977,625
2003	666'088,500
2004	735'956,800
2005	766'237,200

Tabla 4.6. Ingresos de 1991 hasta 2005 captados por el gobierno en la autopista. Fuente: elaboración propia con información de CAPUFE y SCT.

#### 4.6.3. Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente

El cálculo de esta variable se ha realizado tomando en cuenta otros datos como:

- i) Flujo vehicular anual. Para ello, se utilizaron las Tablas A1 y A2 del anexo A de este documento, su formato muestra el flujo vehicular anual a partir de 1991 hasta 2005 de la autopista México – Cuernavaca, de todas las clases vehiculares.
- ii) Tránsito Diario Promedio Anual (*TDPA*). Para obtener este nuevo dato, se recurre a dividir el flujo vehicular anual entre 365 días. Se ha utilizado esta variable ya que es el

tránsito representativo que se desplaza durante el año en la autopista. Los resultados aparecen en los anexos B1 y B2. En dichos anexos se advierte que las clases vehiculares A y B generaron movimientos importantes de circulación en la autopista México – Cuernavaca. Las restantes categorías participaron en menor cuantía como se corrobora en el Anexo C.

Para determinar el Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente (*TDPAE*) se utiliza la información de las Tablas B1 y B2 del anexo B y la Tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial relativa a automóviles equivalentes para un análisis generalizado de segmentos de autopista y específicamente para proyectos carreteros construidos en zonas montañosas. Para ello, se construye la Tabla 4.7

La tabla mencionada, contiene la información del (*TDPAE*) del año 2005. Para los años de 1991 al 2004, los datos de este nuevo tránsito, aparecen en las Tablas D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, y D14 del anexo D.

Categoría vehiculares	Unidades vehiculares	Factor ponderado	Autos equivalentes	TDPA Equivalente
A	9'577, 942	1.64	15'707, 025	43, 035
B2	566, 076	2.55	1'443, 494	3, 955
B3	237, 014	2.55	594, 186	1, 628
B4	2, 615	2.55	6, 668	18
C2	237, 014	3.42	810, 587	2, 220
C3	145, 156	3.42	496, 434	1, 360
C4	9, 652	5.13	49, 515	135
C5	200, 356	5.13	1'027, 826	2, 816
C6	65, 654	5.13	336, 805	922
C7	4, 901	5.13	36, 806	101
C8	2, 662	7.51	19, 992	55
C9	75, 075	7.51	563, 813	1, 545

Tabla 4.7. TDPA Equivalente de las categorías vehiculares en 2005. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y Tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

La información detallada en la Tabla 4.7 es la siguiente:

- La primera columna registra las categorías vehiculares del año 2005.
- La segunda columna contiene las unidades vehiculares anuales.
- La tercera columna indica el Factor Ponderado de Equivalencia para cada categoría vehicular, cuando se tiene en una autopista tres tipos de terrenos: montañoso, lomerío y plano. Este dato proviene del Anexo K.
- La cuarta columna resulta de operar el Factor Ponderado de Equivalencia por las unidades vehiculares.
- La última columna contiene el (*TDPAE*) resultado de dividir la columna cuatro entre 365.

Para obtener directamente el dato, se deduce la ecuación siguiente:

$$TDPAE = \frac{UV * FP}{365} \quad [4.2]$$

Donde:

*UV*, corresponde a las unidades vehiculares anuales de la clase vehicular analizada  
*FP*, es el factor ponderado de equivalencia de la clase vehicular analizada.

- Datos del (*TDPAE*), Clase vehicular A

A continuación se construye la Tabla 4.8 con el apoyo de los anexos D de este documento, donde se encuentra el (*TDPAE*) de la clase vehicular A, a partir de 1991 a 2005. Por ejemplo la cifra de 27, 983 (automóviles) están localizados en la intersección de la 5ª columna y el primer renglón de los Anexos D.

Año	( <i>TDPAE</i> ) clase vehicular A
1991	27, 983
1992	31, 321
1993	32, 715
1994	34, 925
1995	30, 515
1996	29, 660
1997	29, 488
1998	31, 448
1999	31, 929
2000	32, 642
2001	36, 147
2002	37, 980
2003	39, 741
2004	41, 335
2005	43, 035

Tabla 4.8. Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente clase vehicular A. Fuente: elaboración propia con información de CAPUFE.

#### 4.6.4. Costos de deterioro (*CD*) de la carpeta

Este costo está relacionado con el mantenimiento necesario para cubrir el daño causado por los vehículos en la carpeta de rodamiento. Este parámetro se determinó utilizando los conceptos siguientes:

- I. El daño causado a la carpeta por la aplicación de un eje dual con un peso de 18,000 libras, llamado daño unitario (DU) por eje equivalente (ESAL en inglés). Para su cálculo se utilizó el contenido en el Apéndice A.
- II. El (*TDPAE*) en términos de ESALs. Para este caso se empleó la información contenida en el Apéndice B.
- III. La inflación acumulada desde 1991 ya que los (*CD*) fueron estimados en \$ 84 por ESAL-km (Rico A., 1991). A continuación se determina este parámetro.

- Inflación acumulada

Con el contenido de la Tabla del Apéndice D, se determinó la inflación acumulada en el horizonte de análisis (de 1991 a 2005). Estos datos se sitúan en la Tabla 4.9 y sirvieron para actualizar el costo de mantenimiento por deterioro del camino por el impacto que le ejercen los vehículos.

Año	Inflación anual (%)	Inflación acumulada
1991	18.79	1*1.1879 = 1.1879
1992	11.93	1.3297
1993	8.01	1.4362
1994	7.05	1.5375
1995	51.97	2.3365
1996	27.70	2.9837
1997	15.72	3.4527
1998	18.61	4.0952
1999	12.32	4.5997
2000	8.96	5.0118
2001	4.40	5.2323
2002	5.70	5.5305
2003	3.98	5.7506
2004	5.19	6.0491
2005	3.33	6.2505
2006	4.05	6.5036
2007	3.76	6.7482
2008	6.53	7.1889
2009	3.57	7.4454
2010	3.94	7.7388

Tabla 4.9. Inflación anual y acumulada. Fuente: elaboración propia con datos de: Pavón L. (2004), Macroeconomía Aplicada. M<sup>c</sup> Graw Hill, México.

Información que se maneja en la Tabla 4.9

La columna 1<sup>a</sup> registra el periodo de estudio.

La Columna 2<sup>a</sup> refiere la inflación anual.

La columna 3<sup>a</sup> contiene la inflación acumulada por periodo. Es decir, para el año 1991 la inflación acumulada es igual a  $(100\% + 18.79\%) = 1.1879$

#### 4.6.4.1. (TDPAE) provocado por vehículos A

Con información de la Tabla 6, página 15 de “Análisis Económico del Comportamiento de Secciones Estructurales de Carreteras en Diversas Circunstancias, IMT, 1995, incluida en el Apéndice A, se construye la Tabla 4.10 que contiene los cálculos del costo de deterioro anual desde 1991 a 2005 de la clase vehicular A. El daño unitario (*DU*) incluye la sobrecarga que ejerce el vehículo sobre el pavimento.

(TDPA) vehículo A Año estudio	Equivalencia ESAL. Daño unitario	(TDPA) Equivalente en ESAL	Veh-km. / Día ESAL (10) <sup>3</sup>	Costo Deterioro por veh-km \$84 ÷ 100 (\$)	Costo de mantenimiento por día (10) <sup>3</sup> (\$)	Costo / año para mante- nimiento (10) <sup>3</sup> (\$)
17, 063 <sub>1991</sub>	0.0005	9	0.513	84*1.1879 = 0.10	0.0513	18.73
19, 098 <sub>1992</sub>	0.0005	10	0.570	84*1.3297 = 0.11	0.063	23.00
19, 948 <sub>1993</sub>	0.0005	10	0.570	84*1.4362 = 0.12	0.0684	24.97
21, 295 <sub>1994</sub>	0.0005	11	0.627	84*1.5375 = 0.13	0.082	29.93
18, 607 <sub>1995</sub>	0.0005	9	0.513	84*2.3365 = 0.20	0.10	36.50
18, 049 <sub>1996</sub>	0.0005	9	0.513	84*2.9837 = 0.25	0.13	47.45
17, 979 <sub>1997</sub>	0.0005	9	0.513	84*3.4527 = 0.29	0.15	54.75
19, 176 <sub>1998</sub>	0.0005	10	0.570	84*4.0952 = 0.34	0.20	73.00
19, 469 <sub>1999</sub>	0.0005	10	0.570	84*4.5997 = 0.39	0.22	80.30
19, 903 <sub>2000</sub>	0.0005	10	0.570	84*5.0118 = 0.42	0.24	87.60
22, 041 <sub>2001</sub>	0.0005	11	0.627	84*5.2323 = 0.44	0.28	102.20
23, 159 <sub>2002</sub>	0.0005	12	0.684	84*5.5305 = 0.46	0.31	113.15
24, 332 <sub>2003</sub>	0.0005	12	0.684	84*5.7506 = 0.48	0.33	120.45
25, 204 <sub>2004</sub>	0.0005	13	0.741	84*6.0491 = 0.51	0.38	138.70
26, 241 <sub>2005</sub>	0.0005	13	0.741	84*6.2505 = 0.53	0.39	142.35

Tabla 4.10. Costos de deterioro causado por la categoría A sobre la carpeta. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE.

#### 4.6.4.2. Expresiones resultantes

Es evidente que se pueden deducir las fórmulas para comprobar la información de cada columna de la Tabla 4.11, a continuación se proporcionan estas expresiones:

- ❖ En la 1ª columna se tiene el (TDPA) de la categoría vehicular A y se determinó con la ecuación:

$$TDPA = \frac{\text{Flujo Vehicular Anual}}{365} \quad [4.3]$$

- ❖ En la 2ª columna, se tiene la equivalencia en ESAL (Daño Unitario). Donde ESAL es la descarga de 8.5 toneladas sobre la carpeta producido por un eje dual.
- ❖ En la 3ª columna, se localiza el Transito Diario Promedio Anual Equivalente (TDPAE) en ESAL, obtenido con la relación:

$$(TDPAE) \text{ ESAL} = (TDPA) * DU \quad [4.4]$$

- ❖ En la 4ª columna, se encuentra el término denominado: ESAL-km / día, tomando en cuenta el TDPAE en ESAL y la longitud (L) en kilómetros del tramo México - Cuernavaca. Para ello se aplicó la fórmula siguiente:

$$\frac{\text{Vehículo - Km}}{\text{Día}} (\text{ESAL}) = (TDPA) * (DU) * L \quad [4.5]$$

Donde:

( $L$ ), es la longitud de la autopista (57 km)

- ❖ En la 5ª columna, aparece el ( $CD$ ) igual a \$ 84 por ESAL-km (Rico A., 1991), afectado por la inflación acumulada en el año en estudio y dividido entre 1, 000. Esto es para la eliminación de los tres ceros. Por lo tanto:

$$CD = \frac{\$84 * Inflation_{Acumulada}}{1,000} \quad [4.6]$$

De otra manera, [4.6] se puede reescribir como:

$$CD = N\$0.084 * Inflation_{Acumulada} \quad [4.7]$$

- ❖ En la 6ª columna, se tiene el costo de mantenimiento por día, obtenido con la relación:

$$\frac{Costo.de.mantenimiento}{Día} = \frac{(CD) * Vehículo}{Día} \quad [4.8]$$

La expresión anterior se ha generalizado de la siguiente manera:

$$\frac{Costo.de.mantenimiento}{Día} = [(0.084 * Inflation_{Acumulada}) * (TDPA * DU * L)] \quad [4.9]$$

- ❖ En la 7ª columna se tiene la cuota por año para mantenimiento de la carpeta. Este valor se designa como:

$$CPAMAC = \frac{Costo.de.mantenimiento}{Día} * 365 \text{ dias} \quad [4.10]$$

El término anterior se puede generalizar con la relación siguiente:

$$CPAMAC = [(0.084 * Inflation_{Acumulada}) * TDPA * DU * L] * 365 \text{ dias} \quad [4.11]$$

[4.11] se designará como **Ecuación General** para la obtención de la cuota por mantenimiento de la carpeta de rodamiento.

Donde:

$CPAMAC$ , es la cuota a cobrar por vehículo para mantenimiento exclusivo de la carpeta.

\$ 0.084, es el valor en pesos y representa el costo del deterioro al pavimento; y, representa el costo por eje equivalente por km requerido para el re-encarpetado y mantenimiento correctivo de la autopista (Rico A., 1991).

$TDPA$ , es el Tránsito Diario Promedio Anual.

$DU$ , es la equivalencia en ESAL de la categoría vehicular analizada.

$L$ , es la longitud del tramo de la autopista.

#### 4.6.5. Cálculo de Costos por Congestión (CC)

En esta sección se determinará en cuales condiciones los vehículos de la categoría A provocan (CC). En el caso de la autopista México – Cuernavaca, para conocer si existe congestión vehicular, se recurre a la Tabla 4.12 que contiene el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) y que afectado por el Factor Ponderado de Equivalencia (Anexo K), proporciona el (TDPAE) indicado en la columna (D). También se incluyen las columnas (E) y (F) que contienen el Factor de Conversión 'K' y el Volumen Horario Promedio por autopista de dos sentidos que resulta de operar la columna (D) por la columna (E).

Año	TDPA	Factor Ponderado de equivalencia	(TDPAE), clase vehicular A	Factor K'	Tránsito Horario Promedio (v/h/ autopista de dos sentidos)	Volumen Horario Promedio (v/h/sentido) G = (F)/2
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	
1991	17,063	1.64	27,983	0.084	2,351	1,176
1992	19,098	1.64	31,321	0.085	2,662	1,331
1993	19,948	1.64	32,715	0.084	2,748	1,374
1994	21,295	1.64	34,925	0.114	3,981	1,991
1995	18,607	1.64	30,515	0.092	2,807	1,404
1996	18,049	1.64	29,660	0.076	2,254	1,127
1997	17,979	1.64	29,488	0.091	2,683	1,342
1998	19,176	1.64	31,448	0.090	2,830	1,415
1999	19,469	1.64	31,929	0.097	3,097	1,549
2000	19,903	1.64	32,642	0.100	3,264	1,632
2001	22,041	1.64	36,147	0.099	3,579	1,790
2002	23,159	1.64	37,980	0.099	3,760	1,880
2003	24,232	1.64	39,741	0.099	3,934	1,967
2004	25,204	1.64	41,335	0.118	4,878	2,439
2005	26,241	1.64	43,035	0.076	3,271	1,636

Tabla 4.11. Tránsito Horario Promedio de la autopista México - Cuernavaca. Fuente: elaboración propia con información de CAPUFE y Datos Viales. SCT.

##### 4.6.5.1. Carriles en la autopista México – Cuernavaca

La autopista referida muestra un tercer carril de ascenso en ambos sentidos para aumentar la capacidad de la autopista y que de manera importante el usuario adquiera una mayor seguridad de operación y se eviten accidentes por maniobras restringidas y de rebase. En la Tabla 4.13, se tiene el kilometraje y la ubicación del tercer carril.

Sentido	Kilometraje	Número de carriles	Longitud (km.)	Longitud para tres carriles (km.)	Longitud para dos carriles (km.)
México - Cuernavaca					
	0+23.00 – 0+46.00	Tres	23.00		
	0+46.00 – 0+49.00	Dos	3.00		
	0+49.00 – 0+49.50	Tres	0.50		
	0+49.50 – 0+53.00	Dos	3.50		
	0+53.00 – 0+54.50	Tres	1.50		
	0+54.50 – 0+80.00	Dos	25.50	25.00	32.00
Cuernavaca - México					
	0+80.00 – 0+47.00	Tres	33.00		
	0+47.00 – 0+27.00	Dos	20.00		
	0+27.00 – 0+23.00	Tres	4.00	37.00	20.00
Sumas				62.00	52.00

Tabla 4.12. Número de carriles y su kilometraje de ubicación. Fuente: elaboración propia con datos de campo.

De la Tabla 4.12, es evidente que se puede determinar el promedio de carriles de acuerdo con:

$$PROMC = \frac{(Longitud) * (\#de.carriles)}{Longitud..total} \quad [4.12]$$

Por lo tanto, sustituyendo datos en [4.12] se llega a:

$$PROMC = \frac{(62 * 3 + 52 * 2)}{104} = 2.79$$

#### 4.6.5.2. Tabla del Highway Capacity Manual

Para determinar los vehículos que se incorporan a las autopistas, se utiliza el Apéndice C7 de este documento que, dispone los criterios para la determinación del nivel de servicio en segmentos básicos de autopistas del Manual de capacidad en carreteras (2000). La tabla muestra los valores de la densidad vehicular (veh/km/carril), mínima velocidad (km/h), máxima relación: volumen / capacidad (veh/h/carril) y máxima tasa de flujo (veh/h/carril). A continuación se indica parte de este apéndice.

Criterio	Niveles de servicio				
	A	B	C	D	E
Velocidad a flujo libre = 100 km/h					
Densidad máxima (veh/km/carril).	7	11	16	22	28
Mínima velocidad (km/h).	100	100	100	93.8	82.1
Máxima relación: volumen / capacidad Veh/h/carril	0.30	0.48	0.70	0.90	1.00
Máxima tasa de flujo (veh/h/carril).	700	1100	1600	2065	2300

Tabla 4.13. Parámetros permitidos en una autopista a flujo libre. Fuente: HCM (2000)

#### 4.6.5.3. Vehículos incorporados a la autopista

La Tabla 4.14 contiene los datos para determinar el número de autos (clase A) que se han incorporado a la autopista México – Cuernavaca a partir del horizonte de estudio.

Año	Tránsito Horario Promedio (v/h/2.79 carriles por sentido de la autopista México – Cuernavaca (B))	Tránsito Horario Promedio (v/h/carril autopista México - Cuernavaca (C))	Tasa de flujo máxima recomendada por el HCM, (2000) ( $q_o$ ) (v/h/carril) (D)	Categoría clase A en porcentaje (%) (E)	Flujo vehicular clase A, transitado (F)	G = C – F (v/h/carril)
(A)						
1991	1, 176	422	1, 600	83.65	1, 338	--
1992	1, 331	447	1, 600	82.20	1, 315	--
1993	1, 374	492	1, 600	83.65	1, 338	--
1994	1, 991	714	1, 600	84.00	1, 344	--
1995	1, 404	503	1, 600	83.90	1, 342	--
1996	1, 127	404	1, 600	82.20	1, 312	--
1997	1, 342	481	1, 600	79.50	1, 272	--
1998	1, 415	507	1, 600	81.60	1, 306	--
1999	1, 549	555	1, 600	81.10	1, 298	--
2000	1, 632	585	1, 600	85.40	1, 366	--
2001	1, 790	642	1, 600	83.90	1, 342	--
2002	1, 880	674	1, 600	83.90	1, 342	--
2003	1, 967	705	1, 600	81.90	1, 310	--
2004	2, 439	874	1, 600	85.10	1, 362	--
2005	1, 636	586	1, 600	84.80	1, 357	--

Tabla 4.14. Vehículos que han circulado en la autopista México - Cuernavaca. Fuente: elaboración propia con datos de: Cal y Mayor (2005) y Datos Viales SCT (1992- 2006).

Información que contiene la Tabla 4.15

- ✓ En la columna A se tiene el año de estudio.

- ✓ La columna B contiene el Tránsito Horario Promedio V/h/2.79 carriles por sentido). Este dato proviene de la columna G de la Tabla 4.11
- ✓ En la columna C se tiene el Tránsito Horario Promedio (V/h/carril) que resulta de dividir la columna B entre 2.79 carriles.
- ✓ La columna D contiene la tasa de flujo propuesta por el HCM (2000) en condiciones de Nivel de servicio C.
- ✓ La valores de la columna E corresponden al porcentaje de circulación de la categoría vehicular A.
- ✓ La columna F se obtiene operando la columna D\*E.
- ✓ Las cifras de la columna G resultan de restar los valores de la columna C y F.

#### **4.6.5.4. Conclusiones particulares del análisis**

1. Se observa en la columna G de la Tabla 4.11 que no hay presencia de vehículos adicionales que generen congestión y/o mayor densidad vehicular como lo señala el Highway Capacity Manual (2000), para un nivel de servicio C cuando se transita a una velocidad de 100 km/h.

2. De acuerdo con Ginés de Rus, *et al.*, (2005), se establece que los usuarios de una autopista de cobro, realizan costos de traslado que incluyen exclusivamente el valor del tiempo invertido en su desplazamiento siempre que no se rebase la tasa máxima de flujo de 1, 600 v/h/carril, como lo refiere el Manual.

3. De lo anterior, para el caso particular de la autopista México – Cuernavaca los datos reportados de 1991 a 2005 en este trabajo, señalan que efectivamente no se ha generado dicha congestión. Esto corrobora lo que Ginés de Rus *et al.*, (2005) especifican en su estudio.

4. En el Anexo K, se ha obtenido el valor del tiempo de traslado de los usuarios cuando no existe congestión.

#### **4.6.5.5. Datos para obtener el (MTV) de clase vehicular A**

Un resumen de todos los datos para obtener el Modelo de prueba se presenta en la Tabla 4.15, o sea:

- 1) Año de estudio.
- 2) ( $TC$ ) del vehículo A.
- 3) ( $TDPAE$ ).
- 4) ( $I_{ng}$ ) corrientes por el cobro de tarifas.
- 5) ( $CD$ ) de la carpeta producido por la categoría A.

Año	(TC) (\$)	(TDPAE)	Ingresos ( $I_{ng}$ ) por cobro de tarifas de autos (\$)	Costos por deterioro (CD) (\$)	Costos por congestión (CC)
1991	17	27,983	105'875,915	18,730	0
1992	20	31,321	139'415,400	23,000	0
1993	25	32,715	182'025,500	24,970	0
1994	25	34,925	194'316,875	29,930	0
1995	30	30,515	203'746,650	36,500	0
1996	38	29,660	250'339,630	47,450	0
1997	46	29,488	301'867,410	54,750	0
1998	50	31,448	349'962,000	73,000	0
1999	50	31,929	426'371,100	80,300	0
2000	68	32,642	493'992,460	87,600	0
2001	70	36,147	563'147,550	102,200	0
2002	75	37,980	633'977,625	113,150	0
2003	75	39,741	666'088,500	120,450	0
2004	80	41,335	735'956,800	138,700	0
2005	80	43,035	766'237,200	142,350	0

Tabla 4.15. Base de Datos para el modelo clase A. Fuente: elaboración propia con información proveniente de la administración central y del proceso de cálculo.

#### 4.7. Diseño del Modelo Tarifario Vehicular (MTV)

Para el diseño y construcción del (MTV), se utilizó [3.15] mencionado en el Capítulo 3. Esta relación se cita como ecuación de predicción en cuatro variables y permitirá pronosticar con precisión los parámetros de las variables independientes con los datos de la Tabla 4.16. A continuación se reproduce la ecuación:

$$TC = \beta_0 + \beta_1(TDPAE) + \beta_2(I_{ng}) + \beta_3(CD) + \beta_4(CC)$$

Pero de acuerdo con la información de la Tabla 4.15, no existen costos por congestión en la autopista México - Cuernavaca. Entonces:

$$\beta_4 CC = 0$$

Lo anterior significa que [3.15] se puede reescribir como:

$$TCA = \beta_0 + \beta_1(TDPAE) + \beta_2(I_{ng}) + \beta_3(CD)$$

##### 4.7.1. Solución particular del Modelo Categoría A

Utilizando los datos de la Tabla 4.15, con un paquete de cómputo, se obtuvo el despliegue de resultados dado en la Tabla 4.16. Aquí se tiene otra información del Modelo. O sea:

$R^2 = 0.993265$ ,  $R^2$  ajustado = 0.991429, suma de los errores estándar de la regresión = 0.049835, estadísticos = -3.871391, -3.861163, 4.050250, 0.226225, prueba para rechazo o aceptación de los parámetros: Criterio de Akaike = -2.937004, Criterio de Schwarz = -2.748191, parámetros ( $\beta_0 = -6.378646$ ,  $\beta_1 = -0.785714$ ,  $\beta_2 = 0.911104$ ,  $\beta_3 = 0.042924$ ) y Estadístico F = 540.7748

Dependen Variable: LOG(TCA)				
Method: Least Squares				
Date: 07/08/09 Time: 04:01				
Sample: 1991 2005				
Included observations: 15				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-6.378646	1.647637	-3.871391	0.0026
LOG(TDPA)	-0.785714	0.203491	-3.861163	0.0026
LOG(ING)	0.911104	0.224950	4.050250	0.0019
LOG(CD)	0.042924	0.189740	0.226225	0.8252
R-squared	0.993265	Mean dependent var.		3.788347
Adjusted R-squared	0.991429	S.D. dependent var.		0.538282
S.E. of regression	0.049835	Akaike info criterion		-2.937004
Sum squared resid	0.027319	Schwarz criterion		-2.748191
Log likelihood	26.02753	F-statistic		540.7748
Durbin-Watson stat	2.438350	Prob(F-statistic)		0.000000

Tabla 4.16. Despliegue de los datos y estimación de los parámetros. Elaboración propia mediante EVIEWS.

#### 4.7.2. Expresión del Modelo

De acuerdo con Gujarati D., (2007), el Modelo General se ha expresado como:

$$\ln(TCA) = \beta_0 + \beta_1 \ln(I_{ng}) + \beta_2 \ln(TDPAE) + \beta_3 \ln(CD) \quad [4.13]$$

Con los coeficientes de la columna (2) y filas (7), (8), (9) y (10), de la Tabla 4.16 y sustituidos en [3.15], se obtuvo el Modelo final como:

$$\ln(TCA) = -6.378646 - 0.785714 * \ln(I_{ng}) + 0.911104 * \ln(TDPAE) + 0.04292 * \ln(CD) \quad [4.14]$$

Los coeficientes: - 6.378646 - 0.78571, + 0.911104 y + 0.42924, adquieren la nomenclatura:  $k_1, k_2, k_3$  y  $k_4$  y por lo tanto la ecuación [4.14] se puede generalizar en esta investigación como:

$$\ln(TCA) = k_1 + k_2 \ln(I_{ng}) + k_3 \ln(TDPAE) + k_4 \ln(CD) \quad [4.15]$$

## 4.8. Validación y prueba del Modelo

De acuerdo con Prawda J., (2000). La validación y prueba del modelo, está dirigida a descubrir errores de tal forma que modeladores y clientes entiendan las limitaciones del modelo, se mejore y se utilice para la mejor toma de decisiones.

### 4.8.1. Validación del Modelo

Se validó [4.15] sustituyendo los valores de las variables independientes: Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente, Ingresos y Costos de deterioro mostrados en la Tabla 4.16, los resultados de la tarifa estimada (3ª columna) se incluyen en la Tabla 4.17 donde se observa que sus valores son ligeramente parecidos a los de la tarifa aplicada y/o observada (3ª columna).

Año	Tarifa (\$)	Tarifa estimada (\$)
1991	17	17.006751
1992	20	20.178327
1993	25	24.950754
1994	25	25.351919
1995	30	29.683952
1996	38	37.033814
1997	46	44.392665
1998	50	48.889130
1999	50	58.070014
2000	68	65.506900
2001	70	68.580494
2002	75	73.806842
2003	75	74.704493
2004	80	80.299375
2005	80	77.592628

Tabla 4.17. Valores de la tarifa aplicada contra la tarifa estimada. Fuente: elaboración propia con información de Excel.

De acuerdo con la información proporcionada por la Tabla 4.17 se puede afirmar que los datos tienen sentido y también decidir que los parámetros son válidos y en consecuencia la ecuación [4.15] es eficiente.

### 4.8.2. Prueba del Modelo

Una parte importante que se obtiene al evaluar la adecuación del Modelo corresponde a las pruebas de hipótesis estadísticas sobre los parámetros de dicho Modelo y la construcción de ciertos intervalos de confianza. Para ello, se construyó la Tabla 4.18 de distribuciones. Se requieren los datos de la Tabla 4.16 que proviene de un programa, en su formato muestra la salida generada por el paquete de cómputo.

Distribución t	Distribución F	Durbin – Watson
$v = 11$ $\alpha = 5\%$ , se obtiene con: “t” de tablas = 1.796	$v_2 = 11$ $v_1 = 3$ , se obtiene con: $F = 3.59$	$n = 15$ , $k - 1 = 3$ Se obtiene con: $d_L = 0.814$ y $d_U = 1.75$

Tabla 4.18. Distribución t y F y Criterio de Durbin – Watson. Fuente: elaboración propia con información de Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería. Montgomery D., (2000) Econometría Básica, Gujarati D., (2007)

La información que maneja la Tabla 4.18 es la siguiente:

a) En la 1ª columna se tiene la distribución t, obtenida de la Tabla IV de Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería. Montgomery D., et al (2000). Para ello, se utilizó:

$$v = n - k$$

Donde:

$v = 11$  (Número de grados de libertad ingresando en la primera columna de las tablas “t”).  
 $n = \#$  de observaciones (15) de modelo,  
 $k = \#$  de parámetros (4) del modelo.

b) En la 2ª columna se tiene la Distribución F, obtenida de la Tabla V del mismo autor indicado. Se empleó la nomenclatura siguiente:

$$v_2 = n - k$$

$$v_1 = n - k$$

Donde:

$v_2 = 11$  (Número de grados de libertad. Se localiza en la primera columna de las tablas de la Distribución F).  
 $v_1 = 11$  (Número de grados de libertad. Se localiza en el renglón correspondiente de las tablas de la Distribución F).  
 $n = \#$  de observaciones (15) de modelo,  
 $k = \#$  de parámetros (4), del modelo.

c) En la 3ª columna se tiene el Criterio de Durbin – Watson, obtenido del Apéndice de la Tabla D.5A de Gujarati D., (2007). Para ello, se aplicó:

$$n = 15 \text{ y } v = k - 1$$

Con la información anterior y la Tabla 4.16 se probaron las hipótesis siguientes:

1. Estadístico “t” de  $\beta_0 = 3.871391 > 1.796$
2. Estadístico “t” de  $\beta_1 = 3.861163 > 1.796$

3. Estadístico “t” de  $\beta_2 = 4.050250 > 1.796$
4. Estadístico “t” de  $\beta_3 = 0.226225 < 1.796$
5. Estadístico F del Modelo =  $540.7748 > 3.59$ , Esta prueba determina que el Modelo ajusta de manera adecuada los datos de las variables.
6. Prueba de Durbin – Watson (medida de la autocorrelación que existe entre las variables). Esta prueba considera los valores extremos del Coeficiente de Correlación de la siguiente manera:

$$-1 \leq \rho \leq 1$$

Es decir, si:

- i)  $\rho = -1$ , D-W = 4, existe autocorrelación positiva
- ii)  $\rho = 0$ , D-W = 2, no hay autocorrelación
- iii)  $\rho = 1$ , D-W = 0, existe autocorrelación negativa.

Para verificar que no existe autocorrelación se utilizó el valor de D-W = 4, (valor extremo propuesto por los autores Durbin y Watson) indicado en el inciso (i) y se procedió a efectuar las siguientes operaciones:

$$\begin{aligned} (4 - 0.814) &= 3.186 \\ (4 - 1.75) &= 2.25 \end{aligned}$$

Finalmente se compararon estos valores con el criterio de D-W dado en la Tabla 4.18 de este documento y se observó que el valor de 2.438350 se encuentra entre los calculados. Esto significa que no existe autocorrelación entre variables.

## 4.9. Aplicación en vehículos B

Para mejorar el desarrollo de este Capítulo, se ha empleado la Metodología descrita en el Capítulo 3 para obtener el Modelo Tarifario para clases vehiculares B (autobuses). Estos vehículos están involucrados en el flujo vehicular e intervienen en el deterioro del camino de manera importante. Se propuso determinar un Modelo Tarifario Vehicular que involucrara las tres categorías de autobuses como si fueran autobuses B2 equivalentes.

Por tanto, se recurrió a las Tablas del Anexo B, relacionadas con el (TDPA) de las clases vehiculares: autobuses de dos, tres y cuatro ejes. Las tablas mencionadas muestran que los autobuses de tres y cuatro ejes circulan en menor escala que el autobús de dos ejes.

### 4.9.1. Aplicación de la Metodología

Para la aplicación del procedimiento metodológico, se prescindieron de: adquisición de datos, identificación de autopistas de cuota rentables, identificación del tipo de terreno donde está alojada la autopista, e identificación de categorías vehiculares). Estos planteamientos se han detallado ya en los subcapítulos 4.1, 4.2, 4.3, 4.4. Esto significa continuar con:

#### 4.9.2. Identificación de las variables

De acuerdo con la Tabla 4.11 y con la información de Datos Viales (1991 – 2005), SCT., resulta evidente que la categoría vehicular B, por circular en la Autopista México – Cuernavaca en menor porcentaje, no produce costos por congestión. Por lo tanto, en este paso, se han considerado las mismas variables del caso anterior: Tarifa de cuota para autobuses ( $TCB$ ), Ingresos ( $I_{ng}$ ), Transito Diario Promedio Anual Equivalente ( $TDPAE$ ) y Costos de deterioro ( $CD$ ).

#### 4.9.3. Preparación de datos

Se ha preparado la información de los datos de las variables como a continuación se describe:

##### 4.9.3.1. Tarifa de cuota de autobuses B ( $TCB$ )

Las tarifas de cuota de esta categoría vehicular, se enlistan en la Tabla 4.19. También se tiene el periodo en que fue aplicada.

Año	Tarifa de cuota (\$)
1991	34
1992	37
1993	37
1994	40
1995	48
1996	61
1997	77
1998	106
1999	120
2000	125
2001	130
2002	130
2003	135
2004	140
2005	145

Tabla 4.19. Tarifa de cuota de la categoría vehicular B. Elaboración propia con datos de la administración central.

##### 4.9.3.2. Ingresos ( $I_{ng}$ )

Para conformar los ingresos generados por la categoría vehicular B, se recurrió al Anexo E de este documento.

##### 4.9.3.3. TDPA Equivalente ( $TDPAE$ )

Esta información provino del Anexo D

#### 4.9.3.4. Costo de deterioro (CD)

Este costo resulta de evaluar el deterioro provocado por los vehículos B. A continuación se realizan las operaciones.

#### 4.9.3.5. Cálculo del daño unitario ponderado

Para estos cálculos se tomó en cuenta la suma de los tres (TDPA) de los autobuses B2, B3 y B4. Asimismo, el daño unitario (DU) de cada autobús se pondera para obtener un daño unitario ponderado (DUP) asignado a todos los autobuses. Como casos particulares: de 1991 a 1993 no existieron movimientos de tráfico de B3 y B4, por tanto, el daño unitario únicamente se consideró exclusivamente para la categoría B2.

Considerando los planteamientos dados en 4.9.3.5., la Tabla 4.20 muestra los cálculos sólo para el año 1994. Para 1995 a 2005, los valores del daño unitario ponderado (DUP) aparecen en la 2ª columna de la Tabla 4.21

	B2	B3	B4	Sumas
(TDPA)	1,381.00	108.00	2.00	1,491
Porcentaje del (TDPA)	0.92622401	0.07243461	0.00134138	
Daño unitario	1.67	2.5	3.75	
Daño unitario ponderado	1.5467941	0.18108652	0.00503018	1.7329108

Tabla 4.20. Determinación del daño unitario ponderado de la categoría B. Fuente: elaboración propia con información de este trabajo.

#### 4.9.3.6. Costos de deterioro ponderado de la autopista

Se procedió a determinar el (DUP) producido por las categorías vehiculares B2, B3 y B4. Con el mismo procedimiento empleado en la Tabla 4.10, se determinaron sus cuotas de mantenimiento que se deberían cobrar para cubrir el deterioro causado por esos vehículos. La información aparece en la 7ª columna de la Tabla 4.21

Similarmente como lo propone la sección 4.6.4.2, resultan expresiones cuyos planteamientos son idénticos a los ya indicados.

<i>TDPA</i> vehículo B Año estudio	Equivalencia ESAL. Daño unitario ponderado	<i>TDPA</i> Equivalente en ESAL	Veh-km. / Día ESAL (10) <sup>3</sup>	Costo deterioro por Veh-km \$84 ÷ 100 (\$)	Costo Mantenimiento por día (10) <sup>3</sup> (\$)	Costo / año para mante- nimiento (10) <sup>3</sup> (\$)
662 <sub>1991</sub>	1.67	1,106.00	63.042	0.10	6.30	2, 299.50
140 <sub>1992</sub>	1.67	234.00	13.338	0.11	1.47	536.55
1782 <sub>1993</sub>	1.67	2,976.00	169.632	0.12	20.36	7, 431.40
1491 <sub>1994</sub>	1.73	2,579.00	147.003	0.13	19.11	6, 975.15
1958 <sub>1995</sub>	1.77	3,466.00	197.562	0.20	39.51	14, 421.15
1840 <sub>1996</sub>	1.79	3,294.00	187.758	0.25	46.94	17, 133.10
1910 <sub>1997</sub>	1.77	3,381.00	192.717	0.29	55.89	20, 399.85
1831 <sub>1998</sub>	1.78	3,259.00	185.763	0.344	63.90	23, 324.40
2130 <sub>1999</sub>	1.73	3,685.00	210.045	0.39	81.92	29, 900.80
1987 <sub>2000</sub>	1.86	3,696.00	210.672	0.42	88.48	32, 286.20
1896 <sub>2001</sub>	1.86	3,527.00	201.039	0.44	88.46	32, 286.86
769 <sub>2002</sub>	1.90	1,461.00	83.270	0.46	38.31	14, 165.65
714 <sub>2003</sub>	1.93	1,378.00	78.546	0.48	37.70	13, 760.50
1990 <sub>2004</sub>	1.92	3,821.00	217.797	0.508	110.64	40, 383.60
2207 <sub>2005</sub>	1.92	4,237.00	241.509	0.525	126.79	46, 278.35

Tabla 4.21. Costo de deterioro ponderado causado por la categoría vehicular B. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE

#### 4.9.4. Resumen de datos

Similarmente como lo indicado en la sección 4.6.5.5., los valores de cada parámetro que se analizaron, se encuentran enlistados en la Tabla 4.22

Año	(TC) B2 (\$)	(TDPA) Equivalente de tres tipos de terreno	Ingresos de B2 + B3 + B4 (\$)	Costos de deterioro ponderado B2 (\$)
1991	34	1, 688	8'212, 598	2'299, 500
1992	37	3, 956	20'952, 175	536, 550
1993	37	4, 544	24'064, 541	7'431, 400
1994	40	3, 803	22'573, 600	6'975, 150
1995	48	4, 992	14'421, 150	14'421, 150
1996	61	4, 690	40'943, 505	17'133, 100
1997	77	5, 228	53'663, 456	20'399, 850
1998	106	4, 669	58'810, 488	23'324, 400
1999	120	5, 431	82'395, 920	29' 900, 800
2000	125	5, 066	87'014, 640	32'286, 200
2001	130	4, 832	86'464, 875	32'286, 860
2002	130	3, 333	36'459, 020	14'165, 650
2003	135	1, 822	33'899, 320	13'760, 500
2004	140	5, 073	98'055, 090	40'383, 600
2005	145	5, 601	111'923, 140	46'278, 350

Tabla 4.22. Datos para dotar al paquete de cómputo. Fuente: elaboración propia con información proveniente del trabajo de esta investigación.

#### 4.9.5. Diseño del Modelo

Con la información de la Tabla 4.22 y mediante un paquete de cómputo, se obtuvo el Modelo Tarifario Vehicular (MTV) para las tres categorías de autobuses como si fueran vehículos B2 equivalentes.

Por otro lado, la Tabla 4.23 muestra los parámetros  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ , y  $\beta_3$ , sus coeficientes, error estándar, “t” estadístico y su porcentaje de significancia, respectivamente. También, dicha tabla indica un  $R^2$ ,  $R^2$  ajustado, el error estándar de la regresión y la suma de los cuadrados residuales.

Dependent Variable: LOG(TCB)				
Method: Least Squares				
Date: 07/11/09 Time: 16:38				
Sample: 1991 2005				
Included observations: 15				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-5.079173	1.138128	-4.462741	0.0010
LOG(TDPAE)	-1.109605	0.166653	-6.658187	0.0000
LOG(INGRESO)	1.049461	0.138218	7.592789	0.0000
LOG(CDETERIORO)	0.013664	0.067164	0.203447	0.8425
R-squared	0.942968	Mean dependent var		4.373395
Adjusted R-squared	0.927413	S.D. dependent var		0.572681
S.E. of regression	0.154291	Akaike info criterion		-0.676773
Sum squared resid	0.261863	Schwarz criterion		-0.487959
Log likelihood	9.075796	F-statistic		60.62429
Durbin-Watson stat	2.305959	Prob(F-statistic)		0.000000

Tabla 4.23. Despliegue de la información del modelo para autobuses. Fuente: elaboración propia mediante un paquete de cómputo.

#### 4.9.6. Obtención de una solución del Modelo

Finalmente utilizando los coeficientes de los parámetros  $\beta$ , el Modelo para autobuses se expresó mediante la siguiente ecuación:

$$Ln(TCB) = -0.507173 - 1.109605 * Ln(TDPAE) + 1.049461 * Ln(I_{ng}) + 0.013664 * Ln(CD)$$

[4.16]

#### 4.9.7. Validación y prueba del Modelo

Similarmente a lo propuesto por la sección 4.8 de este documento, se deben efectuar la validación y prueba del modelo.

#### 4.9.7.1 Validación del Modelo

[4.16] Se validó utilizando el enfoque similar indicado en la sección 4.8.1., utilizando los datos de la Tabla 4.23, para ello se sustituyeron los valores de las variables predictoras. En la Tabla 4.24, se tienen los resultados y se puede comparar el comportamiento de la (*TCB*) estimada y aplicada.

Año	Tarifa B2 (\$)	Tarifa estimada (\$)
1991	34	36.094618
1992	37	36.754574
1993	37	37.779646
1994	40	43.004413
1995	48	53.094405
1996	61	64.451223
1997	77	76.077624
1998	106	95.125239
1999	120	114.982966
2000	125	131.666974
2001	130	137.840630
2002	130	83.141823
2003	135	150.487325
2004	140	149.482555
2005	145	154.164662

Tabla 4.24. Tarifa aplicada contra la tarifa estimada del vehículo B2. Fuente: elaboración propia con información de Excel.

La información proporcionada por la Tabla 4.24 es congruente. Por lo tanto los parámetros de [4.16] son válidos.

#### 4.9.7.2. Prueba del Modelo

Con el mismo razonamiento empleado en la sección 4.8.2., se realizaron las pruebas de hipótesis al Modelo propuesto para decidir que la mejor solución dada por [4.16] es adecuada.

Para realizar las pruebas se recurrió a la información de las Tablas 4.23 y 4.18 y comparar con el estadístico “t” en relación a los valores del modelo, se observó que son mayores a “t” de tablas = 1.796, por lo tanto se aceptaron los parámetros.

Similarmente, para la prueba de autocorrelación (Durbin – Watson), en la Tabla 4.2.3, se indicaron las condiciones y rangos para medir la autocorrelación entre variables. La prueba consistió en utilizar el planteamiento ya indicado en dicha sección. Por tanto, los valores D-W de 3.186 y 2.25 permitieron compararlo con el D-W de la Tabla 4.18 y se observó que se encuentra en ese rango. Esto significa que no existe autocorrelación entre las variables.

En el caso de la prueba de ajuste y con un enfoque análogo al empleado en 4.8.2., esta prueba consistió en utilizar  $F = 14.53835$  proveniente de la Tabla 4.23 y se contrastó con la Distribución F dada en la Tabla 4.18, para esta hipótesis  $F$  calculado  $> F$  Tablas. Por lo tanto el cumplimiento de la hipótesis indica que el modelo dado por la ecuación [4.19] es apropiado.

## 4.10. Aplicación en vehículos C

Para complementar el cálculo de Modelos Tarifarios, se propuso determinar el modelo correspondiente a la clase vehicular C2. Para esta propuesta, se recurre a la Tabla del Anexo D, relacionada con el (TDPA) de esta categoría (C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 y C9) respectivamente, ahí se muestra que los vehículos de tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho y nueve ejes, circulan en menor escala que los de 2 ejes. Por tanto, igual que en los casos de la sección 4.10, se propuso determinar un Modelo Tarifario que involucrara las ocho categorías de camiones como si fueran camiones C2 equivalentes.

### 4.10.1. Aplicación de la Metodología

Para obtener el Modelo en este tipo de vehículos, se han omitido las subsecciones 3.3.3., 3.3.4., 3.3.5., 3.3.6., 3.3.7., y 3.3.8., ya que las condiciones son las mismas de los vehículos A y B. Por lo tanto, se procedió a continuar con la sub sección 3.3.9.

### 4.10.2. Preparación de datos

#### 4.10.2.1. Tarifa de cuota para camiones (TCC)

La Tabla 4.25, indica el año y la correspondiente tarifa aplicada a los camiones C2 para ese periodo.

Año	Tarifa de cuota C2
1991	34
1992	37
1993	37
1994	40
1995	48
1996	77
1997	88
1998	106
1999	120
2000	125
2001	130
2002	130
2003	134
2004	139
2005	140

Tabla 4.25. Tarifa de cuota de la categoría vehicular C. Elaboración propia con información de la administración central.

#### 4.10.2.2. Ingresos ( $I_{ng}$ ).

Para conformar los ingresos generados por la categoría vehicular C, se recurrió al Anexo E de este documento.

#### 4.10.2.3. Transito Diario Promedio Anual Equivalente (TDPAE)

Esta información provino del Anexo D, de este documento.

#### 4.10.2.4. Costo de deterioro (CD)

Los costos de deterioro provocados por los vehículos C, se calculan siguiendo el criterio empleado en la sección 4.9.3.4. Sin embargo, antes se deberá determinar el daño unitario ponderado (DUP).

#### 4.10.2.5. Daño unitario ponderado

Para los cálculos del (DUP), se consideró la suma de los ocho valores del (TDPA) para obtener un (TDPA) ponderado como aparece en la 2ª columna de la Tabla 4.24. El daño unitario que producen los vehículos se ponderó para obtener un daño unitario ponderado asignado al vehículo C2.

De acuerdo con los planteamientos dados en 4.10.2.5., la Tabla 4.26 muestra el tratamiento únicamente para el año 1991. Para las fechas de 1992 hasta 2005, los valores del daño unitario ponderado (DUP) aparecen en la 1ª columna de la Tabla 4.27

Categoría	(TDPA)	Porcentaje (TDPA)	(DU)	(DUP)
C2	107	0.66875	5.43	3.63
C3	18	0.1125	2.90	0.33
C4	0	0.00	3.19	0.00
C5	18	0.1125	4.78	0,54
C6	14	0.0875	8.38	0.73
C7	3	0.01875	6.69	0.12
C8	0	0.00	7.65	0.00
C9	0	0.00	3.91	0.00
Sumas	160			5.35

Tabla 4.26. Determinación del daño unitario ponderado en vehículos C. Fuente: elaboración propia con información de esta investigación.

#### 4.10.2.6. Cálculo del costo de deterioro

La información de la 5ª columna y del noveno renglón de la Tabla 4.26, se incluyó en la 2ª columna de la Tabla 4.27 y permitió calcular el costo de deterioro de los camiones C que ejercen sobre la autopista.

(TDPA) vehículo B y año estudio	Equivalencia ESAL. Daño unitario ponderado	(TDPA) Equivalente en ESAL	Veh-km / Día ESAL (10) <sup>3</sup>	Costo de deterioro por Veh-km \$84 ÷ 100 (\$)	Costo de mantenimiento por día (10) <sup>3</sup> (\$)	Costo / año para mantenimiento (10) <sup>3</sup> (\$)
160 <sub>1991</sub>	5.35	856	48.792	0.10	4.8792	1, 780.91
1203 <sub>1992</sub>	5.45	6,556	373.692	0.11	41.1061	15, 003.73
1273 <sub>1993</sub>	5.40	6,874	391.818	0.12	47.0182	17, 161.63
2268 <sub>1994</sub>	5.16	11, 793	667.071	0.13	86.7192	31, 652.52
1374 <sub>1995</sub>	5.17	7, 104	404.928	0.20	80.9856	29, 559.74
1466 <sub>1996</sub>	5.07	7,433	423.681	0.25	105.9203	38, 660.89
1605 <sub>1997</sub>	5.07	8,137	463.809	0.29	134.5046	49, 094.18
2051 <sub>1998</sub>	5.06	10, 378	591.546	0.344	203.4918	74, 274.52
1648 <sub>1999</sub>	5.10	8, 401	479.085	0.39	186.8432	68, 197.75
1978 <sub>2000</sub>	3.11	6,152	350.664	0.42	147.2789	53, 756.79
2126 <sub>2001</sub>	3.27	6,952	396.264	0.44	174.3562	63, 640.00
3044 <sub>2002</sub>	2.61	7,945	452.865	0.46	208.3179	76, 036.03
2720 <sub>2003</sub>	2.38	6,474	369.018	0.48	177.1286	64, 651.95
2226 <sub>2004</sub>	3.17	7,056	402.192	0.508	204.3135	74, 574.44
2028 <sub>2005</sub>	3.11	6,307	359.5	0.525	188.737	68, 889.18

Tabla 4.27. Costos de deterioro ponderado causado por la categoría C2., Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE.

#### 4.10.2. Resumen de datos

La Tabla 4.28, muestra la información básica para la determinación del Modelo Tarifario para un camión C.

Año	(TCC)	(TDPAE) C2 + C3 + C4 + C5 + C6 + C7 + C8 + C9	Ingresos ( $I_{ng}$ ) C2 + C3 + C4 + C5 + C6 + C7 + C8 + C9 (\$)	Costos de deterioro (CD) C2 + C3 + C4 + C5 + C6 + C7 + C8 + C9 (\$)
1991	34	619	2'908, 564	1'780, 910
1992	37	4, 523	20'620, 929	15'003, 730
1993	37	4, 838	21'577, 133	17'161, 630
1994	40	8, 725	48'528, 235	31'652, 520
1995	48	5, 566	39'739, 707	29'559, 740
1996	77	5, 226	44'929, 388	38'660, 890
1997	88	6, 665	62'404, 957	49'094, 180
1998	106	7, 231	88'417, 544	74'274, 520
1999	120	11, 110	76'758, 562	68'197, 750
2000	125	7, 104	124'805, 830	53'756, 790
2001	130	9, 238	132'532, 020	63'640, 000
2002	130	12, 489	183'900, 005	76'036, 030
2003	134	13, 536	174'541, 565	64'651, 950
2004	139	7, 101	140'044, 992	74'574, 440
2005	140	9, 154	145'169, 347	68'889, 180

Tabla 4.28. Datos del vehículo C para dotar al paquete de cómputo. Fuente: elaboración propia con información obtenida durante el proceso.

### 4.10.3. Diseño del Modelo

Utilizando la información de la Tabla 4.28 y un paquete de cómputo, se obtuvo el (MTV) para la categoría vehicular C. Con los datos de dicha tabla y con el mismo criterio empleado anteriormente, se obtuvieron los parámetros de la ecuación de predicción en tres variables. El despliegue de la información aparece en la Tabla 4.29

Dependent Variable: LOG(TCC)				
Method: Least Squares				
Date: 07/14/09 Time: 19:50				
Sample: 1991 2005				
Included observations: 15				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-5.258651	1.141752	-4.605773	0.0008
LOG(TDPAE)	-0.554729	0.286321	-1.937438	0.0788
LOG(INGRESO)	0.889359	0.149263	5.958352	0.0001
LOG(CDETERIORO)	-0.081970	0.139435	-0.587871	0.5685
R-squared	0.876506	Mean dependent var		4.394513
Adjusted R-squared	0.842826	S.D. dependent var		0.565030
S.E. of regression	0.224007	Akaike info criterion		0.068901
Sum squared resid	0.551971	Schwarz criterion		0.257714
Log likelihood	3.483242	F-statistic		26.02436
Durbin-Watson stat	2.165722	Prob(F-statistic)		0.000027

Tabla 4.29. Despliegue de datos para el modelo de la categoría C2. Elaboración propia con información obtenida durante el proceso.

### 4.10.4. Obtención de una solución del Modelo

Finalmente, el Modelo para camiones se pudo expresar con la ecuación:

$$LN(TCC) = -5.258651 - 0.554729 * Ln(TDPAE) + 0.889359 * Ln(I_{ng}) - 0.08197 * Ln(CD)$$

[4.17]

### 4.10.5. Validación y prueba

En esta sección se utilizan los criterios indicados en la sección 4.8

#### 4.10.5.1. Validación

Para validar [4.17], se ha considerado el criterio similar empleado en la sección 4.8.1. Se sustituyeron los valores de las variables: Transito Diario Promedio Diario Equivalente Ingresos y Costos de Deterioro desplegados en la Tabla 4.25 en la ecuación referida.

Lo anterior ha permitido estimar los valores de la  $(TCC)$ . Estos resultados se incluyen en la Tabla 4.30, donde se observa la similitud de los valores de la tarifa aplicada actualmente con la estimada por el Modelo. Esto significa que se acepta la validez de [4.17].

Año	Tarifa aplicada (\$)	Tarifa estimada (\$)
1991	34	30.70
1992	37	40.29
1993	37	39.97
1994	40	56.35
1995	48	60.88
1996	77	68.79
1997	106	78.95
1998	120	99.44
1999	125	69.58
2000	130	140.10
2001	130	126.00
2002	130	140.57
2003	134	130.00
2004	139	151.14
2005	140	136.43

Tabla 4.30. Tarifa aplicada contra la tarifa estimada en camiones C2. Fuente: elaboración propia con información de Excel.

Los valores de la tarifa aplicada y estimada son semejantes y se pueden interpretar como adecuados en la solución.

#### 4.10.5.2. Prueba del Modelo

La prueba de [4.17] consistió en aplicar los mismos juicios empleados en 4.8.2 mediante la utilización de la 4ª columna proporcionada en la Tabla 4.29 y contrastarla con la información de la Tabla 4.18

- 1) Estadístico “t” de  $\beta_0 = 4.605770 > 1.796$
- 2) Estadístico “t” de  $\beta_1 = 1.937438 > 1.796$
- 3) Estadístico “t” de  $\beta_2 = 5.958352 > 1.796$

#### 4.10.5.3. Prueba de Durbin – Watson

La autocorrelación que existe entre las variables se mide con Durbin – Watson dada en la 3ª columna de la Tabla 4.18. Por tanto, se recurrió a los valores de 3.186 y 2.25 dados en la sección 4.8.2.

La prueba consistió en emplear el término  $D - W = 2.165722$ , localizado en la Tabla 4.29 y compararlo con los anteriores. Se observa que se encuentra entre 2.25 y 3.186, por estas condiciones, se dice que no existe autocorrelación.

#### 4.10.5.4. Bondad de ajuste F

La prueba F permitió juzgar si [4.17] es adecuada. Con un análisis similar al descrito se obtuvo que  $F$  calculado = 26.02436 >  $F$  de tablas = 3.98, esto significa la aceptación del Modelo.

### 4.11. Esquema final tres Modelos Tarifarios

Los tres Modelos Tarifarios obtenidos con la aplicación de la Metodología para actualizar tarifas de cuota se incorporan en la Tabla 4.31 de acuerdo con el tipo de vehículo.

Vehículo	Modelo	Ecuación
Autos A	$Ln(TCA) = -6.378646 - 0.78571 * Ln(TDPAE) + 0.911104 * Ln(I_{ng}) + 0.042924 * Ln(CD)$	[4.14]
Autobus B	$Ln(TCB) = -5.079173 - 1.109605 * Ln(TDPAE) + 1.049461 * Ln(I_{ng}) + 0.013664 * Ln(CD)$	[4.16]
Camiones C	$Ln(TCC) = -5.258651 - 0.554729 * Ln(TDPAE) + 0.880359 * Ln(I_{ng}) - 0.081970 * Ln(CD)$	[4.17]
Modelo Genérico	$Ln(Tarifa) = k_1 + k_2 Ln(TDPAE) + k_3 Ln(I_{ng}) + k_4 Ln(CD)$	[4.15]

Tabla 4.31. Modelos Tarifarios obtenidos con la metodología. Fuente: elaboración propia con información de este documento.

Información que contiene la Tabla 4.31:

En el primer renglón se tiene el (MTV) para las categorías ligeras (Autos y Pick-ups).

En el segundo renglón se tiene el (MTV) para autobuses de dos y tres ejes.

En el Tercer renglón se tiene el (MTV) para camiones de dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho y nueve ejes.

En el cuarto renglón se tiene el Modelo Genérico.

#### 4.11.1. Elementos de generalización

De acuerdo con las variables utilizadas en [4.15], el modelo, se puede expresar en función de sus variables como:

$$Tarifa = f(Ingresos, Transito Equivalente, Costos de deterioro) \quad [4.18]$$

Se muestra mediante [4.18] el siguiente comportamiento: cuando existen rebajas tarifarias, el usuario se ve atraído para transitar por la autopista de cuota, esto trae consigo el incremento del tránsito vehicular así como los ingresos para la administración.

Por otro lado, cuando se aplique [4.15] a otras autopistas de altas especificaciones y de alta rentabilidad, se deben considerar las variables fundamentales mostradas en [4.18] que deben adoptarse

cuando se aplique dicho Modelo. Los datos históricos serán diferentes por las condiciones físicas del proyecto carretero.

## 4.12. Análisis de transferencia de flujos vehiculares

En esta sección se utiliza el (MTV) para vehículos ligeros dado por [4.14], en un intento por determinar la tarifa de cuota adecuada que debería aplicarse al usuario en condiciones de incorporar tránsito vehicular de la carretera alterna a la autopista México – Cuernavaca, sin llegar a su saturación.

### 4.12.1. Generalidades

1. La Tabla del Highway Capacity Manual, (2000), proporcionada por el Apéndice C7, muestra que para un Nivel de Servicio C y a una Velocidad a Flujo Libre de 100 km/h, se tiene una Máxima Tasa de Flujo de 1, 600 veh/h/carril.

2. Particularmente el Highway Capacity Manual, (2000), informa que el Nivel de Servicio C, pertenece al rango de flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros vehículos y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente. Volúmenes de tránsito más altos controlan las velocidades y la posibilidad de maniobrar. Los conductores tienen restricciones para cambiar de carril, rebasar y mantener la velocidad deseada y se producen demoras.

3. Los conceptos 1 y 2 se pueden asociar con la propuesta de Gines de Rus, *et al.*, (2005). Es decir, al rebasar el umbral de 1, 600 veh/h/carril, (se incorporan vehículos adicionales), se tendrán condiciones de congestionamiento por reducción de velocidad de traslado. En la sección 4.6.5.3., de este capítulo se demostró que actualmente la autopista México – Cuernavaca y de acuerdo con sus volúmenes vehiculares que circulan en su tramo no generan congestión a la infraestructura. Por lo tanto, se puede diseñar una (TC) reducida que permita aumentar la capacidad de la vía y consecuentemente aumente su utilización.

### 4.12.2. Diseño de la tarifa de cuota

Se diseñará la tarifa de cuota para atraer tráfico de la carretera alterna a la autopista. Para ello se utiliza el Modelo Tarifario Vehicular [4.14], obtenido con datos de 1991 – 2005 para vehículos ligeros que debe ser aplicable para los años siguientes (206, 2007, 2008 y 2009), ya que en estos años se ha generado información por la utilización de la autopista México - Cuernavaca. Esto se muestra en la Tabla 4.32

Año	TDPA	Tarifa de cuota (\$)	Ingresos (\$)
2006	29, 773	85.00	923' 707, 325
2007	27, 607	85.00	856' 507, 175
2008	28, 197	80.00	823' 352, 400
2009	28, 490	82.50	857' 905, 125

Tabla 4.32. Tarifas de cuota, Tránsito Diario Promedio Anual e Ingresos. Fuente: datos viales (2007 – 2010), CAPUFE

La tabla mencionada contiene la tarifa cobrada, el Tránsito Diario Promedio Anual y los Ingresos para los años respectivos. Tomando como referencia los datos se tiene:

#### 4.12.3. Elementos de Diseño

Para el diseño de la  $(TC)$  adecuada y atraer tráfico a la autopista de cuota, se requieren los siguientes elementos:  $(I_{ng})$ , aumento del  $(TDPA)$ ,  $(TDPAE)$  y  $(CD)$ .

**a) Ingresos.** Se mantienen constantes los ingresos de \$ 857' 905, 125 que percibió la administración central en el año 2009. Esto se hace para asegurar los ingresos requeridos por el organismo central. Esta información se da en la 4ª de la Tabla 4.32

**b) Aumento de Tránsito Diario Promedio Anual.** Se recomienda ampliar el horizonte del  $(TDPA)$  de la categoría vehicular A.

**c) Equivalencia del Tránsito Diario Promedio Anual Aumentado.** Básicamente, se requiere realizar la equivalencia del  $(TDPA)$  aumentado.

**d) Costo de deterioro** por la incorporación de tránsito. El nuevo tránsito originará mayor desgaste de la carpeta de rodamiento y mayores costos de mantenimiento.

Para obtener la información de los incisos c y d, se elaboran las Tablas 4.33 y 4.34, el Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente resulta de operar el  $(TDPA)$  por 1.64 que es el Factor de Equivalencia y el  $(CC)$  se utiliza con el criterio empleado en la sección 4.9.6.4.

Año	TDPA	Porcentaje Vehículos 'A'	TDPA Autos	TDPA Equivalente	K'	THM v/h/auto pista	THM v/h/sentido	Tasa de Flujo v/h/carril
2006	34, 945	85.2	29, 773	48, 828	0.126	6, 152	3, 076	1, 103
2007	31, 953	86.4	27, 607	45, 275	0.099	4, 482	2, 241	803
2008	33, 018	85.4	28, 197	46, 243	0.091	4, 208	2, 104	754
2009	32, 672	87.2	28, 490	46, 723	0.065	3, 037	1, 519	544
	<b>48, 463</b>	<b>83.65</b>	<b>40, 539</b>	<b>66, 485</b>	<b>0.094</b>	<b>6, 249</b>	<b>3, 124</b>	<b>1, 120</b>
	<b>49, 761</b>	<b>83.65</b>	<b>41, 625</b>	<b>68, 265</b>	<b>0.094</b>	<b>6, 417</b>	<b>3, 208</b>	<b>1, 150</b>
	<b>51, 925</b>	<b>83.65</b>	<b>43, 435</b>	<b>71, 234</b>	<b>0.094</b>	<b>6, 696</b>	<b>3, 348</b>	<b>1, 200</b>
	<b>56, 251</b>	<b>83.65</b>	<b>47, 054</b>	<b>77, 170</b>	<b>0.094</b>	<b>7, 254</b>	<b>3, 627</b>	<b>1, 300</b>
	<b>61, 354</b>	<b>83.65</b>	<b>51, 323</b>	<b>84, 170</b>	<b>0.094</b>	<b>7, 912</b>	<b>3, 906</b>	<b>1, 400</b>
	<b>64, 904</b>	<b>83.65</b>	<b>54, 293</b>	<b>89, 042</b>	<b>0.094</b>	<b>8, 370</b>	<b>4, 185</b>	<b>1, 500</b>
	<b>69, 234</b>	<b>83.65</b>	<b>57, 914</b>	<b>94, 979</b>	<b>0.094</b>	<b>8, 928</b>	<b>4, 464</b>	<b>1, 600</b>

Tabla 4.33. Valores del Tránsito Diario Promedio Anual Aumentado. Fuente: elaboración propia con información de Datos Viales (2007 – 2010), Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Información contenida en la Tabla 4.33

1. En la 2ª columna se ha integrado el  $(TDPA)$  de los años 2006 hasta 2009 y se amplía su horizonte en forma gradual hasta llegar a la tasa de flujo máxima que especifica el HCM (2000).

2. En la 3ª columna se tiene el porcentaje vehicular de la categoría A, el porcentaje igual 83.65 es la media de los porcentajes.
3. Los datos de la 4ª columna se obtienen multiplicando la 2ª por la 3ª columna.
4. Los datos de la 5ª columna resultan de operar la 4ª columna por el factor ponderado de equivalencia que es igual a 1.64.
5. En la 6ª columna se sitúan los valores de K' que representa el factor para determinar el volumen de proyecto (es un valor aproximado que utiliza la Secretaria de comunicaciones y Transportes)
6. Los datos de la 7ª columna se obtienen multiplicando las cifras de la 5ª columna por los de la 6ª columna. Este dato corresponde al Tránsito Horario Promedio para los dos sentidos de la autopista.
7. La información de la 8ª columna corresponden al Tránsito Horario Promedio para un sentido de la autopista.
8. En la 9ª columna se tiene la Tasa de Flujo por carril y resulta de dividir los datos de la 8ª columna entre 2.79 que representa el promedio de carriles de la autopista México – Cuernavaca.

#### 4.12.4. Costos por año

En Tabla 4.34 se determinan los costos por año para mantenimiento por deterioro de la carpeta. Este criterio ya se ha empleado en el ejemplo dos del Anexo L de esta Tesis.

(TDPA) vehículo A Año estudio	Equivalencia ESAL. Daño unitario	(TDPA) en Equivalente ESAL	Veh-km. / Día ESAL (10) <sup>3</sup>	Costo de deterioro por Veh-km. \$84 ÷ 100 (\$)	Costo de mantenimiento Por día (10) <sup>3</sup> (\$)	Costo / año Para mante- nimiento (10) <sup>3</sup> (\$)
29, 773 <sub>2006</sub>	0.0005	15	0.855	84*6.5036 = 0.55	0.4703	171.66
27, 607 <sub>2007</sub>	0.0005	14	0.798	84*6.7482 = 0.57	0.4549	166.04
28, 197 <sub>2008</sub>	0.0005	14	0.798	84*7.1889 = 0.60	0.4734	172.79
28, 490 <sub>2009</sub>	0.0005	14	0.798	84*7.4454 = 0.63	0.5027	183.49
<b>40, 539</b>	<b>0.0005</b>	<b>20</b>	<b>1.140</b>	<b>84*7.7388 = 0.65</b>	<b>0.7410</b>	<b>270.47</b>
<b>41, 625</b>	<b>0.0005</b>	<b>21</b>	<b>1.197</b>	<b>84*7.7388 = 0.65</b>	<b>0.7780</b>	<b>283.97</b>
<b>43, 435</b>	<b>0.0005</b>	<b>22</b>	<b>1.254</b>	<b>84*7.7388 = 0.65</b>	<b>0.8151</b>	<b>297.51</b>
<b>47, 054</b>	<b>0.0005</b>	<b>24</b>	<b>1.368</b>	<b>84*7.7388 = 0.65</b>	<b>0.8892</b>	<b>324.56</b>
<b>51, 323</b>	<b>0.0005</b>	<b>26</b>	<b>1.482</b>	<b>84*7.7388 = 0.65</b>	<b>0.9633</b>	<b>351.60</b>
<b>54, 293</b>	<b>0.0005</b>	<b>27</b>	<b>1.539</b>	<b>84*7.7388 = 0.65</b>	<b>1.0000</b>	<b>365.00</b>
<b>57, 914</b>	<b>0.0005</b>	<b>29</b>	<b>1.653</b>	<b>84*7.7388 = 0.65</b>	<b>1.0745</b>	<b>392.19</b>

Tabla 4.34. Costo de Deterioro cuando aumenta el Tránsito Diario Promedio Anual. Fuente: elaboración propia.

En 1ª columna de la Tabla 4.34, se tienen las cifras de la 4ª columna de la Tabla 4.33, dato necesario para determinar el costo anual.

#### 4.12.5. Cálculo de la tarifa de cuota

Con la utilización del Modelo Tarifario Vehicular para automóviles siguiente:

$Ln(TCA) = -6.378646 - 0.78571 * Ln(TDPAE) + 0.911104 * Ln(I_{ng}) + 0.042924 * Ln(CD)$ , y los datos de las Tablas 4.34 y 4.35, se obtienen valores de la tarifa y sus resultados se muestran en la 2ª columna de la Tabla 4.35

<i>(TDPA)</i> aumentado Equivalente	Tarifa obtenida con [4.13] (\$)	Ingresos obtenidos con [4.13] (\$)	Ingresos actuales (\$)
48, 828	86.90	944' 354, 900	923' 707, 325
45, 275	85.92	865' 777, 605	856' 507, 175
46, 243	81.25	841' 363, 233	823' 352, 400
46, 723	84.35	884' 318, 204	857' 905, 125
<b>66, 485</b>	65.00	961, 787, 775	857' 905, 125
<b>68, 265</b>	63.80	969, 321, 375	857' 905, 125
<b>71, 234</b>	61.93	981, 824, 286	857' 905, 125
<b>77, 170</b>	58.28	1, 00 0' 942, 099	857' 905, 125
<b>84, 170</b>	54.62	1, 023' 190, 725	857' 905, 125
<b>89, 042</b>	52.54	1, 041' 182, 290	857' 905, 125
<b>94, 979</b>	49.91	1, 055' 028, 025	857' 905, 125

Tabla 4.35. Tarifa reducida y obtenida con el Modelo para clase vehicular A. Fuente: elaboración propia con datos del Modelo.

Observaciones a la Tabla 4.35

#### 4.12.6. Tarifas reguladoras

1. Para la administración es posible reducir las tarifas de cuota gradualmente tal y como está considerado en dicha tabla.
2. Se observa que para un volumen vehicular de 57, 914 autos, es posible aplicar una *(TC)* de \$ 49.91 que puede soportar la autopista sin llegar a saturarse.
3. Para determinar el volumen vehicular mixto, se debe aplicar o dividir la cantidad de 57, 914 entre el porcentaje de 83.65 lo que proporciona 69, 214 vehículos mixtos.

#### 4.12.7. Alivio de la carretera federal

1. De acuerdo con Datos Viales, (2009) en el año 2009 circularon 28, 073 autos por la carretera alterna
2. La aplicación de una tarifa reducida de \$ 49.91 para vehículos ligeros originaría incrementar la capacidad de la autopista atrayendo el flujo vehicular de la alterna.
3. Este cálculo con base en el Modelo Tarifario vehicular (MTV) y la capacidad sin saturación de la autopista México – Cuernavaca es teórico ya que se tendría una encuesta de preferencia declarada de los usuarios de la carretera libre para conocer la proporción de los que realmente aceptarían pagar alguna cuota.

## 5. Análisis y discusión de resultados

Para la obtención del Modelo Tarifario Vehicular, ha sido necesario conocer y estudiar el comportamiento de la tarifa de cuota que está muy ligada a las autopistas de cuota. Una tarifa de cuota siempre se ve influenciada por otras variables como las que se han mencionado en esta investigación como: tránsito vehicular, composición vehicular, longitud del tramo, equivalencia de ejes, tipo de financiamiento, costos de operación vehicular, etc. También ha sido necesario revisar la literatura científica que ha contribuido a determinar diferentes modelos tarifarios porque cada autor considera sus propias variables.

Estructura matemática del (MTV) obtenido en este documento es:

$$\ln(TARIFA) = k_1 + k_2 \ln(TDPAE) + k_3 \ln(I_{ng}) + k_4 \ln(CD)$$

En donde:

$k_1, k_2, k_3$  y  $k_4$  son los parámetros que resultan de los valores históricos de las variables siguientes:

1.  $TDPAE$  es el Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente obtenido cuando se conoce el  $TDPA$  y se multiplica por un factor de equivalencia vehicular para zonas montañosas, de lomerío y planas que es igual a 1.64; este factor es una aportación de la investigación.
2.  $(I_{ng})$  es el ingreso y es la cifra en moneda nacional por la aplicación de tarifas de cuota a los vehículos.
3.  $(CD)$  son los costos de deterioro de la carpeta de rodadura que generan los vehículos sobre ella.

Dicho Modelo descrito fue obtenido por la aplicación de la Metodología descrita en el Capítulo 3 de este documento y ofrece ventajas con respecto a la tarifa de cuota calculada sobre la que obtienen otros modelos. En la Tabla 5.1 se muestran los valores de la tarifa de cuota ( $TC$ ) calculada.

Autor	Artículo	Monto de la (TC) de la clase vehicular A (\$)
Vergara C.	Un modelo de autopistas con precios de servicios.	364.58
Hun H.	An Application of Two – Part Tariff Pricing to Expressway: A case of Korea.	89.20 + 0.017 = 89.217
Bonifaz J.L.	Financiamiento Privado e Impuestos: El caso de las Redes Viales en el Perú.	134.12
Rico A.	Criterios para establecer la cuota óptima en una autopista de cuota (Logro del máximo ingreso del recaudador y del mínimo costo nacional del transporte).	56.32
Aplicado en México		85.00
Flores S.	Modelo Tarifario para Autopistas Mexicanas de altas Especificaciones. Estudio de caso base de la Autopista México – Cuernavaca.	49.91

Tabla 5.1. Comparación de valores de la tarifa. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de los modelos analizados.

## 5.1. Análisis de la información

La Tabla 5.1, contiene el modelo propuesto por cada autor y el valor de la (TC) calculada utilizando dicho Modelo. Se observa que existen diferencias en valores tarifarios por cada modelo; las cuales se atribuyen a:

1. La presencia de distintas variables que utiliza cada modelo.
2. Utilización de varias ecuaciones como es el caso del modelo de Rico A. que emplea seis para determinar la tarifa de cuota de un vehículo C2
3. En el caso del modelo de Hun H., se tienen dos valores de la tarifa (\$89.20 y \$0.017 que corresponden a la *Tarifa Base* y a una *Tarifa Variable* respectivamente.

## 5.2. Criterios de comparación de resultados

Aquí se hace una comparación de resultados de la tarifa de cuota obtenidos con el modelo [4.15].

### 5.2.1. Monto de la tarifa de cuota (TC)

El valor obtenido con el Modelo propuesto en este documento es de \$ 49.91 para un vehículo A que transita en una autopista consolidada con garantiza de su tránsito vehicular. Existe una diferencia de \$ 6.41 con respecto al que obtiene Rico A., que es el modelo que arroja la menor tarifa de cuota (\$ 56.32) para un vehículo C2. Además, este modelo solo es aplicable cuando el proyecto carretero inicia operaciones y el tráfico vehicular es reducido. Se considera por tanto que, el Modelo Tarifario Vehicular (MTV) propuesto en esta Tesis supera los resultados. También se observa en la Tabla 5.1 que, el monto de (TC) más alto corresponde al obtenido por Vergara C. siendo este de \$ 364.50. Esto sucede debido a que, el autor concibe un modelo integrador de todos los costos utilizados en la

construcción, mantenimiento, conservación y administración del proyecto además de los beneficios económicos (intereses de capital) a que tiene derecho el inversionista.

Cabe aclarar que el (MTV) de esta investigación no incluye de manera directa los costos realizados en la construcción del proyecto carretero, así como de los costos de mantenimiento y administrativos del mismo. Esto da lugar a considerar que existen ventajas del modelo investigado.

### 5.3. Ventajas del Modelo Tarifario

En esta sección, se describen las ventajas que ofrece el Modelo Tarifario Vehicular (MTV) obtenido en esta investigación.

a) Simplicidad de la estructura matemática.

La utilización del Modelo Tarifario propuesto es sencilla y fácil ya que su uso consiste en dotar al modelo de datos históricos como: ingreso, tráfico vehicular y costos de deterioro de la carpeta, para el cálculo del peaje. En cambio el Modelo de Rico A. muestra seis ecuaciones y catorce variables para determinar la ( $TC$ ) lo cual es altamente laborioso. En los casos de los Modelos de Vergara C. y Hun, para obtener la tarifa de cuota se deben conocer los montos de construcción e intereses a capital.

b) Enfocado al contexto mexicano.

Básicamente el (MTV) está dirigido al contexto mexicano para autopistas con rentabilidad asegurada. Sin embargo por las condiciones de la autopista que sirvió de referencia, se podría generalizar a otras autopistas similares en México (por ejemplo: México-Querétaro-Guadalajara, México-Puebla-Veracruz).

c) Simplicidad del Modelo.

Utilización del (MTV) de manera fácil y sencilla. Es decir, la facilidad y sencillez del Modelo en su uso consiste en dotar de valores históricos a cada una de las variables para determinar la ( $TC$ ).

d) Reducción de tarifas.

Oportunidad de reducir las tarifas de cuota a partir de incrementar el ( $TDPA$ ) en la autopista sin saturar su capacidad. Esto significa que, la estructura matemática del Modelo permite ampliar el tráfico de autos con el objetivo de reducir la ( $TC$ ).

e) Incremento de ingresos para la administración central.

El aumento del tráfico en la autopista de cuota con la aplicación del (MTV), incrementa los ingresos económicos para el gobierno hasta un 7.81%, que representan 151 millones 859 mil 200 pesos.

Actualmente el número de usuarios que se incorporan a la autopista de cuota (28, 490 unidades vehiculares) genera ingresos por \$ 857'905, 125 considerando la tarifa de cuota de \$ 82.50. Con el (MTV) de esta investigación se maneja un ( $TDPA$ ) de 57, 914 y una tarifa reducida de \$ 49.91 para alcanzar ingresos por \$ 1055 millones 028 mil 025 pesos

f) Capacidad de la autopista.

De acuerdo con el punto anterior, el (MTV) sugiere no incrementar el ( $TDPA$ ) en forma indiscriminada para no saturar la autopista. Esto ha dado lugar a determinar la capacidad de la autopista para diseñar el ( $TDPA$ ) que puede soportar la infraestructura.

g) Subsidio de vehículos ligeros a pesados

Se determinó en qué medida la cuota cobrada a los automóviles permite subsidiar el costo de deterioro provocado por los vehículos pesados (autobuses y camiones). Como consecuencia se cobra una tarifa de cuota más elevada a los automóviles.

h) Inflación integrada.

El (MTV) integra en su análisis la inflación. Por lo tanto, el precio de la ( $TC$ ), ya incluye ese indicador económico para evitar un rezago en las tarifas cobradas.

i) Generalización.

La estructura matemática del (MTV) propuesto, se puede generalizar y aplicar en otros proyectos carreteros con la intención de incrementar el ( $TDPA$ ) sin agotar la capacidad vial y reducir la ( $TC$ ). En este punto se debe poner atención en las características físicas de los proyectos carreteros.

J) Datos históricos.

Para la obtención del (MTV) se utilizaron datos históricos (no requiere del pronóstico del tráfico para definir la ( $TC$ )).

k) Viabilidad de ajustarse a datos actuales.

El Modelo tiene la facilidad de manejar datos presentes. Es decir, para cifras de fechas actuales se pueden introducir factores de actualización en su estructura matemática para determinar la ( $TC$ ) con base en valores actualizados de los parámetros  $k_1, k_2, k_3$  y  $k_4$ .

l) Información complementaria.

Asimismo, durante el proceso de obtención del (MTV) se han determinado otros parámetros como: daño unitario ponderado ( $DUP$ ) y Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente ( $TDPAE$ ).

m) Fundamentos del Modelo.

La formulación del (MTV) se fundamenta en términos económicos y esencialmente en la teoría de la Oferta y la Demanda cuyos principios económicos se ocupan de la fuente y recepción de los ingresos. Se ha recurrido a la Estadística y a la Econometría para complementar la Teoría de apoyo a esta investigación.

n) Aplicable a autopistas de cuota de alta rentabilidad.

En la sección 4.2.1., de este documento, se ha definido que una autopista rentable es aquella que tiene altos ingresos por el aseguramiento de su demanda vehicular. Para este caso, el (MTV) se ajusta perfecta y únicamente a autopistas de cuota de alta rentabilidad, altas especificaciones y construidas en terrenos planos, lomeríos y montañosos. Por otra parte, este tema no ha sido abordado en los modelos tarifarios existentes consultados y analizados por lo que, genera un aporte a la investigación realizada.

o) Descripción de las variables involucradas.

Se ofrece una exploración completa de las variables incluidas en el modelo.

p) Estructura explícita.

El arreglo matemático del (MTV) es altamente comprensible.

## 5.4. Aportaciones centrales de este documento

Esta Tesis aporta a la investigación las siguientes contribuciones:

## 1. Metodología para la actualización de tarifas en autopistas de cuota

Se ha determinado una Metodología General para actualizar tarifas en autopistas de cuota (ACs). Dicho procedimiento condiciona y limita su aplicación a proyectos carreteros de alta rentabilidad.

## 2. Diseño del Modelo Tarifario Vehicular para tres categorías vehiculares

Durante la etapa de la investigación se aplica el procedimiento descrito en el Capítulo 3 para diseñar un Modelo Tarifario Vehicular para tres categorías vehiculares A, B y C en autopistas de cuota rentables. Dicho modelo fue obtenido con la ayuda de un paquete de cómputo. La estructura matemática del modelo se generaliza como:

$$\ln(TARIFA) = k_1 + k_2 \ln(TDPAE) + k_3 \ln(I_{ng}) + k_4 \ln(CD)$$

Para el caso de la autopista México – Cuernavaca, el (MTV) para automóviles se particulariza como:

$$\ln(TCA) = -6.581358 - 0.780266 * \ln(TDPAE) + 0.971071 * \ln(I_{ng}) - 0.015710 * \ln(CD)$$

Donde:

(TCA), es la tarifa de cuota dirigida a la categoría vehicular A (autos, vans y camionetas).

(TDPAE), es el Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente.

(I<sub>ng</sub>), es el ingreso que recibe la administración por concepto de aplicación de tarifas en autopistas.

(CD), es el costo de deterioro de la carpeta por el tránsito de vehículos en la autopista.

## 3. Contribución global

La contribución global de esta Tesis se centra en siguientes aspectos fundamentales:

a) Unificar los criterios existentes para la determinación del peaje actualizado (Bonifaz J. *et al.*, 2001) y el empleado actualmente por la administración de la república mexicana que emplean los índices de precios al consumidor y el desarrollado en este documento para formular tarifas de cuota atractivas para usuarios y operadores de proyectos carreteros.

b) Se empleó el (MTV) propuesto en esta investigación de acuerdo a la Ley de la Demanda: “A mayor cantidad (Tránsito Diario Promedio Anual) menor precio (tarifa de cuota)”.

Se hace mención de que los modelos analizados en ninguno de sus apartados mencionan este beneficio para los usuarios.

c) Ésta investigación se beneficia con la Teoría del Consumidor, la cual expresa James J., (2000), como “los individuos realizan sus decisiones y seleccionan alternativas de un conjunto disponible de las mismas”. James J., indica que para un conjunto de oportunidades, un hogar dispone de un ingreso  $Y$ , el cual se gasta en un periodo  $m$ , o en algunos periodos.

Considerando todas las variables positivas, ésta restricción se puede escribir como:

$$Y > \sum_{j=1}^m p_j x_j$$

Donde:

$Y$ , es el ingreso

$p_i$ , es el precio

$x_i$ , es la cantidad del servicio o producto.

Entonces, a partir de la ecuación anterior, si  $m = 1$  se tendrá:

$$\text{Ingreso} = \text{cantidad} * \text{precio}$$

Que se puede expresar como:

$$I_{ng} = [(TPPA) * TC]$$

En el caso particular de la venta de un servicio como es el caso de una autopista de cuota sujeta a tránsitos vehiculares, se tiene que, sufre el desgaste de la carpeta principal, por tanto, se debe recurrir al mantenimiento (gastos y/o desembolsos) para recuperar la calidad de la infraestructura y ofrecer el mejor servicio al usuario.

La ecuación anterior se afecta de otra variable llamada costos de deterioro ( $CD$ ) para quedar de la siguiente manera:

$$I_{ng} = (TDPA) * (TC) - (CD)$$

De esta ecuación interesa determinar el valor de la tarifa de cuota, o sea:

$$TC = \frac{I_{ng} + (CD)}{(TDPA)}$$

d) El presente documento ha pretendido probar, que los modelos analizados se enfocan y tienen el interés de incrementar los ingresos de los concesionarios a base de aplicación de los peajes sin tomar en cuenta la Ley de la Demanda.

e) El (MTV) propuesto en este documento es aplicable en autopistas de alta rentabilidad y se apoya esencialmente en indicadores económicos que se ocupan de la fuente y recepción de los ingresos. Se complementa la Teoría de apoyo con términos estadísticos y econométricos para validar el Modelo. La información empleada (indicadores históricos) en la obtención del Modelo es fácil de conseguir.

#### **4. Contribuciones particulares**

Otras aportaciones de esta Tesis corresponde a la elaboración de anexos en forma de tablas que contienen información relacionada con:

a) Tablas de ingresos totales

Se aportan tablas para facilitar la localización de los ingresos que genera la aplicación de tarifas a todas las clases vehiculares a partir de 1991 hasta 2005. La búsqueda puede ser particular o en forma global de los ingresos.

b) Flujos vehiculares totales

El modelo utiliza la variable Tránsito Diario Promedio Anual (*TDPA*) de todas las clases vehiculares siguientes: A, B2, B3, B4, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 y C9. Este documento proporciona tablas de valores de estas categorías a partir de 1991 hasta 2005 facilitando la búsqueda de estos datos. En dichos cuadros se observa que la clase vehicular A constituye en promedio el 90% del flujo total.

c) Rentabilidad del proyecto.

De acuerdo con el punto anterior, el documento es capaz de determinar la rentabilidad del proyecto en función de los ingresos. Para ello se utilizó el criterio del Valor Presente Neto y la utilización de cifras para dotar a las variables siguientes:

- 1) Inversión inicial.
- 2) Tasa de descuento
- 3) Horizonte de análisis.
- 4) Flujos netos.

d) Determinación de tarifas para otras categorías vehiculares.

En el proceso de obtención del (MTV) principal de este trabajo, se han determinado otras tarifas. Se ha utilizado el concepto de vehículo equivalente en zona montañosa, lomerío y plano para determinar la (*TC*) para las tres categorías vehiculares: autobús (B) y camión de carga (C).

e) Fórmulas y/o expresiones.

Durante el proceso de cálculo del costo de deterioro (*CD*) se han propuesto expresiones que permiten la determinación de este parámetro. Para complementar la información, se proporcionan tablas de los valores del deterioro.

f) Vehículos Equivalentes.

Se ha empleado durante el desarrollo de cálculo, el concepto de Vehículos Equivalentes para terreno montañoso, lomerío y plano utilizando la Tabla 1.1. 3, página 12 del Manual de Capacidad Vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Algunos tramos de la autopista México – Cuernavaca están proyectados y construidos en ese tipo de terreno.

g) Costos de deterioro y/o cuota de mantenimiento.

Durante el proceso de obtención del modelo se han determinado ciertos parámetros como: el costo de deterioro producido por las clases vehiculares y con ello la cuota de mantenimiento que debería aplicarse considerando este concepto.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

Se ha presentado en este documento un **Modelo Tarifario Vehicular (MTV) sencillo y efectivo para casos de autopistas de alta rentabilidad.**

En este trabajo se desarrolló un Modelo General Tarifario completo para automóviles ligeros, autobuses y camiones de carga, usando procedimientos habituales de la Economía y validados por la Ingeniería. El procedimiento utilizado para obtener el Modelo distingue, identifica y plantea una ecuación que involucra una variable dependiente (tarifa de cuota) en función de otras variables: (a) Tránsito Diario Promedio Diario Equivalente; (b) Ingresos y (c) Costos de deterioro. Estas variables se han denominado indicadores económicos porque provienen de la actividad económica que genera la aplicación de tarifas a los usuarios del servicio y en el momento que se produce la circulación del tráfico ocurre simultáneamente el ingreso para la administración y el deterioro del camino el cual se tiene que atender para mantenerlo atrayente y en buenas condiciones.

La obtención del Modelo Tarifario Vehicular (MTV) provino de la aplicación de una Metodología para actualizar tarifas de cuota en autopistas de alta rentabilidad. En dicha Metodología se propuso una secuencia de pasos establecidos en un diagrama de flujo. Para las aportaciones centrales, fue necesaria la comprensión de las investigaciones realizadas por aquellos que se dedican a estudiar el área del transporte y específicamente con la determinación de modelos tarifarios. Se completó el juicio de la investigación con otras aportaciones relacionadas con: (a) Sistemas de concesión; (b) Inversiones; (c) Costos que intervienen en la construcción de autopistas; y (d) Estudios de demanda y otros factores que intervienen en el ambiente tarifario.

Esta Tesis ha cumplido con los siguientes objetivos:

- a) Indagar los diferentes criterios que los investigadores de modelos tarifarios aplican cuando se trata de obtener una  $(TC)$ . Es decir, las diferentes variables que emplean en su modelo.
- b) Se han descrito cada una de las diferentes variables que influyen en el cálculo del peaje.
- c) Se determinó una Metodología para actualizar  $(TCs)$  para proyectos carreteros de alta rentabilidad, teniendo como referencia un diagrama de flujo.
- d) Con la aplicación de la Metodología, se determinó un Modelo Tarifario para tres categorías vehiculares.

Por otra parte, en la determinación del (MTV) se recurrió al empleo de elementos que fueron decisivos en su obtención como: Vehículos equivalentes en terreno montañoso, equivalencia del daño unitario para todas las categorías vehiculares y la inflación que sufren los costos de mantenimiento por deterioro del camino. Las cifras de estos conceptos se muestran en las tablas de los anexos y apéndices correspondientes.

Durante el desarrollo de esta investigación se lograron establecer otros conceptos: reducir la tarifa de cuota en la autopista en beneficio de los usuarios. Esta reducción genera incremento del tráfico vehicular y consecuentemente los ingresos para la administración.

### 6.1. Extensiones que se prevén realizar en sucesivos trabajos

- a) Disposición del Modelo Tarifario:

$$\ln(TARIFA) = k_1 + k_2 \ln(TDPAE) + k_3 \ln(I_{ng}) + k_4 \ln(CD)$$

Para adaptarlo a autopistas rentables, proyectadas y construidas en terrenos de tipo lomerío y/o sensiblemente plano.

b) El (MTV) no pretende resolver la política de saneamiento de deuda pública en autopistas rescatadas por el Fideicomiso de Apoyo para el Rescate de Autopistas de Cuota (FARAC).

c) Definir nuevos y diferentes objetivos de las extensiones futuras.

d) Adaptar el proceso a los modelos existentes descritos para mejorar su funcionamiento. Es decir, las indagaciones efectuadas a los modelos analizados arriba se pueden considerar en el desarrollo de nuevos proyectos relacionados con estos modelos.

## 6.2. Línea de investigación futura

En el Capítulo 2, se discutieron cuatro modelos tarifarios (Vergara C., Bonifaz J., Hun H. y Rico A.). Específicamente ninguno de los cuatro investigadores trata el tema relacionado con modelos tarifarios como un sistema de peajes sombra. Este tipo de modelos es muy usado actualmente en Europa y en México se está tratando de aplicar en algunas autopistas. Estudiar y definir un modelo de peajes sombra, daría la posibilidad de ampliar juicios en temas relacionados con la financiación diferida.

### 6.2.1. Sistema de peajes sombra

Este tipo de financiación es un mecanismo de inversión financiada por el sector privado con el compromiso de la Administración Pública de abonar durante un plazo determinado a través de unas tarifas pactadas según el uso que los ciudadanos hagan de dicha infraestructura. Los pagos periódicos que realice la administración para cada ejercicio presupuestario se consideran como gasto público en el mismo ejercicio. Este esquema se aplica a autopistas no rentables en el corto plazo o a carreteras libres sin peaje.

Así la aplicación del peaje sombra permite escalonar en el tiempo los pagos de la administración pagando al inversionista privado una compensación por peaje equivalente a lo que hubiera pagado por una autopista rentable financiada con fondos privados. El sistema propone un conteo de vehículos para que, a partir de éste, se puedan calcular los vehículos/km, que, multiplicados por la tarifa unitaria que ha ofrecido el concesionario, de como resultado los ingresos mínimos garantizados que el concesionario debería recibir. La diferencia entre los ingresos obtenidos y los ingresos con peaje sombra está cubierta por el gobierno y se contabiliza como gasto presupuestal ordinario.

En el momento y cuando los aforos son suficientes para asegurar una rentabilidad normal de la carretera, el gobierno puede decidir concesionarla por completo al inversionista que cobra entonces una tarifa idéntica a la tarifa sombra. Obviamente, debe existir un precio pactado para esta transacción. En Europa este precio se establece como la suma actualizada de todas las compensaciones que pagó el gobierno en el tiempo hasta llegar al punto de equilibrio de la operación de la carretera. Este precio mínimo, representa el precio de entrada para gozar de una concesión plena y exclusiva sobre 20, 30 o 50 años.

Así, no solamente el sistema de peaje sombra aplicado a carreteras libres o autopistas no rentables permite escalar el gasto público, sino que establece una serie histórica de pagos compensatorios que el gobierno puede recuperar a futuro en el momento de concesionar la operación de la infraestructura.

## Referencias Bibliográficas

- Acha, J., (2000). *Tecnologías para el cobro electrónico de cuotas en carreteras y puentes*, SCT, IMT, Publicación Técnica no. 159, Sanfandila, Qro. México.
- Acha, J.; Manzo, G., (2000). *Traffic Data Collection and Use in the Mexican Interurban Road Network*, IMT, SCT. México.
- Aguerreberre R., Cepeda F., (2002). *Elementos de Proyecto y Costos de Operación en Carreteras*, Publicación No. 202, IMT, SCT. México
- Aguerreberre, R., Cepeda F., (1991). *Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras*, Publicación No. 30, IMT, SCT. México.
- Ámbitos de Actuación de Fundación RACC. *Criterios de Movilidad*. España.
- Arroyo, S.; Aguerreberre, R., (2002). *Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras*, Publicación No. 202, IMT, SCT. México
- Anderson I., (1999). *Las concesiones y la optimización del transporte vial y ferroviario*. Unidad de Transporte, División de Comercio Internacional, Transporte y Financiamiento. CEPAL, Chile
- Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A. C., XVI Reunión Nacional de Vías Terrestres, *Las Vías Terrestres en el Marco de la Globalización, Sistema de Administración de Pavimentos*, Universidad de Guanajuato. México.
- Baca, G., (1994). *Fundamentos de Ingeniería Económica*, Mc Graw Hill.
- Balestrini, M., (2002), *Como se elabora el Proyecto de Investigación*, Consultores Asociados, Servicio Editorial, Caracas. Venezuela.
- Barreiro, B.; (2006). *Organización de Planificación Metropolitana*. Universidad Internacional de Florida. USA
- Barrios, C.; Martínez, M., Toribio, M. (2001). *Los beneficios de las inversiones en infraestructuras y el sistema de precios*, Universidad de la Laguna Tenerife, Universidad de Cádiz, España.
- Belenky, P., (2002). *Principios para un financiamiento eficiente, Presentación preliminar del marco conceptual*, Documento de discusión, Argentina.
- Bonifaz, J.; Urrunaga, R.; Wakeham J., (2001). *Financiamiento Privado e Impuestos: El caso de las Redes Viales en el Perú*, Universidad del Pacífico, Centro de Investigación, Consorcio de Investigación Económica y Social, Proyecto Mediano, Lima. Peru
- Burris, M.; Pendyala, R., (2001). *Discrete choice models of traveler participation in differential time a day pricing programs*. Transport Policy. Volume 8. Issue 2, Pages 241-251.
- Cal y Mayor, R.; Cárdenas, J., *Fundamentos y Aplicaciones de Ingeniería de Tránsito*, 8ª Edición, Alfa y Omega. México 2007

- Campos, J., (2003); *Inversión en carreteras y accidentes de tráfico: una aproximación econométrica*, Universidad de las Palmas de la Gran Canaria. España.
- Cámara de Diputados, H, (2000) *La estructura de los Ingresos Públicos en México*, Congreso de la Unión. México.
- Caminos y Puentes Federales y Conexos *Ajuste de Tarifas en la Red de CAPUFE de 1998 a 2005*. México.
- Carretera México – Cuernavaca. (Cuota y libre), (1985), *Análisis comparativo de costos de operación y cuotas aplicadas SCT*, Dirección General de Planeación. México.
- Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública (2004), *Análisis de las tarifas fijas para el uso de carreteras de peaje (autopistas) en México*, México.
- Centro de Estudios Sociales y de opinión pública, (2004), *Análisis comparativo de tarifas de autopistas concesionadas: Los casos de Argentina, Brasil, España y México*, Cámara de Diputados. México.
- Charoenpornpattna, S.; Nakahama, S.; Minato, T., (2002). *Government Supports as Bundle of Real Options in Built-Operate-Transfer Highway Projects*, Japón.
- Chih, C.; Jyh, K., (2004); *Road pricing models with maintenance cost. Transport*. Kluwer Academia Publishers, Netherlands. Holanda.
- Corporación Andina de Fomento, Financiamiento, *Privado de Proyectos, Estudio de Alternativas y Experiencias en materia de proyectos de participación Público – Privada para América del Sur*, Sector Transporte. Chile.
- Coronel, J., (2003), *Especificación estándar para el modelado y simulación de sistemas de manufactura*, Tesis Doctoral, Orizaba., México.
- Corro, S., (1999); *Comportamiento de carreteras típicas en condiciones normales de servicio*. México.
- Corro, S., (1999); *Diseño estructural de pavimentos asfálticos, incluyendo carreteras de altas especificaciones*. México.
- Cuevas, A; Quintero, F; mayoral, E; Villegas, N; Mendoza A., *Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (1997)*. Documento Técnico No. 25, IMT, SCT, Querétaro, México.
- Datos Viales (1980 – 2005), Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.
- De la LLata, R., (1991). *Estimación de demanda de tránsito en carreteras combinando estudios origen – destino con aforos*, IMT, SCT, Qro., México. Publicación No. 25.
- Departamento de Análisis Económico Aplicado, *XXIX Reunión de Estudios Regionales*, Santander, España.
- Dorfman, M., (1997), *Software Engineering*. IEE Computer Society Press.

- Escobar G., (2006), *Propuesta de un modelo de gestión para el mantenimiento de carreteras en el Estado de Lara – Venezuela*, Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España.
- Esteve, V.; Sapena, J.; Tamarit, Cecilio., (1999). *Expectativas de Devaluación y Variables Macroeconómicas. El caso de España*. Departamento de Economía Aplicada II, Valencia, España.
- Fisher, G.; Babear, S., (2004), *Private Financing of toll Roads*, World Bank's Finance and Guarantees Group. Inglaterra.
- Flores, S., (2000), *Metodología para la evaluación económica – financiera de libramientos carreteros. El caso Jojutla – Zacatepec*. Tesis de Maestría, México.
- García, A., (2004). *Identificación de modelos para series temporales mediante métodos de subespacio*, Tesis Doctoral, facultad de Ciencias económicas, Madrid, España.
- Ginés, de R.; Campos J.; Nombela G.,(2003), *Economía del Transporte*, Ed Antoni Bosch, Barcelona España.
- Ginés, de R.; Romero, M.; Trujillo, L., (2000). *Financiación Privada de Carreteras y Tarificación Óptima*, Departamento de Análisis Económico Aplicado, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, III Encuentro de Economía, Valencia., España.
- González J., (2007), *Las concesiones de las autopistas mexicanas, examen de su vertiente legislativa*. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. México.
- González E., (1992). *El costo de oportunidad social de la mano de obra urbana en México*, Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.
- Gujarati, D., (2007), *Econometría Básica*, 4ª Edición, Mc Graw Hill. México.
- Granados J., (1998), *Metodología para elaborar un programa estratégico de servicio al cliente para un agronegocio de servicios*. Universidad Autónoma de la Laguna, Torreón, México.
- Highway Capacity Manual, (2000). Special Report 209, Third Edition, *Transportation Research Board*, National Research Council, Washington, D.C.USA
- Hun, H.; Chun, K., (2000). *An Application of Two – Part Tariff Pricing to Expressway: A case of Korea*. Korea.
- Hernández R.; Fernández C.; Baptista P., *Metodología de la Investigación*. 2ª Edición, Mc Graw Hill, México.
- Iglesias F., (1998), *Definición de una metodología para el desarrollo de sistemas multiagente*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Índice Nacional de Precios al Consumidor: *Características y Actualización de su base al año 2002*. Banco de México. 2002. México.

- Islas, V.; Rivera, C.; Torres, G., (2000). *Estudio de la Demanda de Transporte*, Publicación Técnica No. 213, Sanfandila Qro. SCT. México.
- Jaime, P.; Menéndez, Á.; Uriburu, M., *Modelo Hidrodinámico del río Paraná para pronóstico hidrológico*. Instituto Nacional del Agua y del Ambiente, Laboratorio de Hidráulica y del Ambiente, Argentina.
- Jiménez, G., (2004). *Análisis de la Deuda Pública en México*, Subdirección Académica, Dirección General de Institutos Tecnológicos, Instituto Tecnológico de Tehuacán Puebla. México.
- Khoshyaran, M.; De Borges, B.; Prost, S., (2002). *Decision on road freight tolls: Country versus EU Perspectives*, Catholic University of Leuven, Belgium, MC-ICAM Workshop, Helsinki, September.
- Kotler P., (2001). *Dirección de Marketing*, Décima Edición, Edición Milenio.
- Levinson, D., (1998). *Tolling at Frontier: A Game Theoretic Analysis*, Universidad de California, Berkeley. USA
- Libro Blanco, (2004), Comisión Europea, Dirección General, VII – *Transportes, Tarifas justas por el uso de infraestructuras Estrategia gradual para un marco común de tarificación de infraestructuras de transporte en la UE*, España.
- López, A.; Alemany V.; Carlos, M., *El modelo matemático y su proceso de calibración como herramienta para la gestión y conservación de la calidad del agua en causas superficiales. Aplicación práctica*, Grupo Mecánica de Fluidos, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Matas, A.; Raymond, J., (1999). *Elasticidad de la demanda en las autopistas de peaje*, Ministerio de Fomento, Asociación de Sociedades de Concesionarias de Autopistas de Peaje. España.
- Mathur, K.; Solow D. (1996), *Investigación de Operaciones*, Prentice Hall, México.
- Mendenhall, W.; Reinmuth J., (1981), *Estadística para Administración y Economía*, Grupo Editorial Americana, 4ª Edición.
- Megan, K.; De Borges B.; Proost, S.,(2002), *Decision on road freight tolls: Country versus EU Perspectives*, Catholic University of Leuven, Belgium, MC-ICAM Workshop, September, Irlanda.
- Mochón, F., *Principios de Economía*, Mc Graw Hill, 1995, España.
- Molinero, L., (2002). *Construcción de modelos de regresión multivariante*. Alce Ingeniería. España.
- Montgomery, D.; Runger G. (1996), *Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería*. M<sup>c</sup> Graw Hill. México.
- Mora, J., (2000). *Teoría del consumidor*, Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas, Universidad Icesi, Cali Colombia.

- Moreno, E., (2005). *Control de Flujos Carreteros de Carga por Inducción en la Selección de la Ruta*, Publicación Técnica No. 270, Sanfandila Qro. IMT, SCT, México.
- Ovalle, H., (1997). *Las Carreteras del Siglo XXI*, Fundación ICA AC, Cuadernos FICA, 1997. México.
- Pavón L., (2004) *Macroeconomía Aplicada*, M<sup>c</sup> Graw Hill. México.
- Pereyra, Andrés., (2003). *Marchas y Contramarchas en la Concesión de Carreteras en Uruguay*. Universidad de la República, Departamento de Economía. Uruguay.
- Pérez, A., (2000). *Estimación e identificación de modelos de volatilidad estocástica con memoria larga*, Tesis de Doctorado, Ciencias económicas Empresariales, Universidad de Valladolid, España.
- Pérez, F.; Pastor, J., (2000). *La financiación privada de Infraestructuras: problemas y modalidades*, Universidad de Valencia, España.
- Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte, España 2005*
- Pozueta, J., (1997), *Experiencia Española en Carriles de Alta Ocupación*. La calzada de BUSNAO en la N- VI: Balance de un año de funcionamiento, España.
- Prawda, J., (2000), *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones*, Limusa, Noriega Editores, México.
- Presentación Informativa. *PPS Carreteros, Irapuato – la Piedad*, SCT; 2005. México.
- Rico, A.; Mendoza, A.; Rivera, C., (1995). *Criterios para establecer la cuota óptima en una autopista de cuota (Logro del máximo ingreso del recaudador y del mínimo costo nacional del transporte)*, IMT, SCT, publicación No. 60, Qro., México.
- Rico, A., (1995). *Análisis Económico del comportamiento de secciones estructurales de carreteras en diversas circunstancias*, IMT. México.
- Rico, S.; Huerta, R.; Ramírez, G.; Negrete, C.; Hernández, S., (2005). *Determinación de tarifas óptimas para la red mexicana de autopistas de cuota*. UAC, SCT., PIARC, Cancún, México.
- Robusté, F., (2002). *El peaje en autopistas como precio por un servicio y como garante de sostenibilidad*, Centro de Innovación del Transporte, Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Romero, M.; Riera, P.; García, D., (2004). *Carreteras de Peaje en Europa*. España.
- Rimbaugh J., (1994), *Getting started, using use cases to capture requirements*. JOOP, Journal of Object Oriented of Programming.
- Sánchez, R., (2003). *El pago por el uso de la infraestructura vial ferroviaria y portuaria concesionada al sector privado*, División de Recursos Naturales e Infraestructura. Chile.
- Salas, H., (1984). *Criterios para seleccionar modelos matemáticos de calidad del agua*. México.

- Samuelson, P.; Dordahaus, W., *Economía*, Mc Graw Hill, 12a, Edición, México
- Sapag, C., (1995). *Evaluación de Proyectos*, Mc Graw Hill, México.
- Schenvar, I., (1999). *Las concesiones y el sistema portuario frente a las reformas económicas en México*, Series Económicas. Chile.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, *Manual de Capacidad Vial* (2000), Dirección General de Servicios Técnico. México.
- Torres, G.; Pérez, J., (2002). *Método de Asignación de Tránsito en Redes Regionales: Dos Alternativas de Solución*, I.M.T., S.C.T., Publicación Técnica No. 214, Qro. México.
- Treviño, H., (2007). *México 2030, Infraestructura para el futuro*, México
- Trucker, T., (2002). *Fundamentos de Economía*, Thomson – Learning, 3ª Edición.
- Vergara, C.; Robusté, F., (2002). *Un modelo de autopistas con precios de servicios*, CENIT, Centro de Innovación del Transporte, Escuela Superior de Ingenieros y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Valencia, V Congreso de Ingeniería del Transporte, Santander, España.
- Urbiztondo, S., (2001). *Los nuevos criterios tarifarios a la infraestructura vial*. Argentina.

## Anexo A. Flujo Vehicular Anual

Año	A	B2	B3	B4	C2	C3
1991	6'227, 995	241, 547	0	0	39, 170	6, 528
1992	6'970, 770	566, 275	0	0	374, 858	7, 978
1993	7'281, 020	650, 393	0	0	396, 993	8, 447
1994	7'772, 856	504, 226	39, 435	641	506, 853	138, 188
1995	6'791, 514	625, 285	89, 033	254	249, 240	91, 192
1996	6'587, 703	575, 775	95, 227	203	254, 024	107, 840
1997	6'562, 772	610, 083	86, 642	203	245, 673	124, 184
1998	6'999, 183	576, 684	91, 320	297	358, 230	146, 308
1999	7'106, 247	726, 801	49, 106	1, 413	389, 078	91, 470
2000	7'264, 756	558, 034	166, 932	156	260, 538	151, 402
2001	8'044, 830	532, 757	158, 802	160	270, 006	159, 181
2002	8'452, 968	204, 709	75, 528	217	499, 626	251, 813
2003	8'844, 769	180, 646	79, 711	407	547, 031	269, 128
2004	9'199, 665	512, 588	210, 263	3, 483	227, 871	144, 354
2005	9'577, 942	566, 076	210, 543	2, 615	237, 014	145, 156

Anexo A1. Unidades vehiculares anuales por categoría: A, B2, B3, B4, C2, C3, C4, que circulan en la autopista México - Cuernavaca. Fuente: elaboración propia con información de CAPUFE.

Año	C5	C6	C7	C8	C9
1991	6, 528	5, 273	1, 150	105	0
1992	15, 951	16, 269	3, 489	4, 620	15, 400
1993	25, 340	12, 316	3, 489	2, 465	15, 400
1994	91, 943	65, 036	514	9, 897	6, 534
1995	88, 160	47, 991	2, 349	1, 5121	0
1996	103, 377	48, 661	2, 897	9, 811	0
1997	129, 111	59, 645	2, 829	13, 607	0
1998	156, 330	60, 163	3, 152	18, 887	1, 174
1999	80, 711	30, 102	330	3, 933	1, 365
2000	192, 642	61, 116	835	43, 542	1, 855
2001	204, 053	9, 029	1, 364	51, 761	6
2002	205, 208	82, 135	2, 114	58, 722	17
2003	201, 664	81, 880	3, 069	41, 973	22, 108
2004	201, 463	74, 617	3, 822	2, 595	65, 777
2005	200, 356	65, 654	4, 901	2, 662	75, 075

Anexo A2. Unidades vehiculares anuales por categoría: C5, C6, C7, C8 y C9. Fuente: elaboración propia con información de CAPUFE.

## Anexo B. Tránsito Diario Promedio Anual

Año	TDPA A	TDPA B2	TDPA B3	TDPA B4
1991	17,063	662	0	0
1992	19,098	140	0	0
1993	19,948	1,782	0	0
1994	21,295	1,381	108	2
1995	18,607	1,713	244	1
1996	18,049	1,578	261	1
1997	17,979	1,672	237	1
1998	19,176	1,580	250	1
1999	19,469	1,991	135	4
2000	19,903	1,529	457	1
2001	22,041	1,460	435	1
2002	3,159	561	207	1
2003	24,332	495	218	1
2004	25,204	1,404	576	10
2005	26,241	1,551	649	7

Anexo B1. TDPA de las categorías: A, B2, B3 y B4. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE.

Año	TDPA C2	TDPA C3	TDPA C4	TDPA C5	TDPA C6	TDPA C7	TDPA C8	TDPA C9
1991	107	18	0	18	14	3	0	0
1992	1,027	22	0	44	45	10	13	42
1993	1,088	23	0	69	34	10	7	42
1994	1,389	379	24	252	178	1	27	18
1995	683	250	21	242	131	6	41	0
1996	696	295	24	283	133	8	27	0
1997	674	340	29	354	163	8	37	0
1998	961	401	32	428	165	9	52	3
1999	1,066	251	12	221	82	1	11	4
2000	714	415	28	528	167	2	119	5
2001	740	436	28	559	217	4	142	0
2002	1,369	690	31	562	225	6	161	0
2003	1,498	218	34	562	224	8	115	61
2004	624	624	24	552	204	11	7	180
2005	649	398	26	549	180	13	7	206

Anexo B2. TDPA de las categorías: C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 y C9. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE.

## Anexo C. Porcentajes del TDPA

Año	TDPA A (%)	TDPA B2 (%)	TDPA B3 (%)	TDPA B4 (%)
1991	0.954	0.037	0	0
1992	0.934	0.007	0	0
1993	0.867	0.077	0	0
1994	0.85	0.055	0.004	0.00008
1995	0.848	0.078	0.0011	0.00005
1996	0.845	0.074	0.0122	0.00005
1997	0.836	0.078	0.011	0.00005
1998	0.831	0.069	0.0000005	0.00004
1999	0.837	0.086	0.006	0.0002
2000	0.833	0.064	0.019	0.00004
2001	0.846	0.056	0.017	0.00004
2002	0.859	0.021	0.008	0.00004
2003	0.876	0.018	0.007	0.00003
2004	0.857	0.048	0.02	0.00004
2005	0.861	0.051	0.021	0.0001

Anexo C1. Tabla de porcentajes del TDPA por categoría vehicular. Fuente: elaboración propia con información de CAPUFE.

Año	TDPA C2 (%)	TDPA C3 (%)	TDPA C4 (%)	TDPA C5 (%)	TDPA C6 (%)	TDPA C7 (%)	TDPA C8 (%)	TDPA C9 (%)
1991	0.006	0.001	0.00	0.001	0.0007	0.000	0.00	0.00
1992	0.050	0.001	0.00	0.002	0.0022	0.0004	0.0006	0.0020
1993	0.047	0.0009	0.00	0.001	0.0014	0.0004	0.0003	0.0018
1994	0.055	0.015	0.001	0.010	0.0071	0.00004	0.0011	0.0007
1995	0.031	0.0011	0.001	0.0101	0.0059	0.0002	0.0018	0.00
1996	0.033	0.014	0.001	0.0013	0.0062	0.0004	0.0012	0.00
1997	0.031	0.016	0.001	0.016	0.0075	0.0004	0.0017	0.00
1998	0.042	0.017	0.001	0.017	0.0072	0.0004	0.0023	0.0001
1999	0.046	0.010	0.0005	0.009	0.0035	0.00004	0.0005	0.0002
2000	0.029	0.017	0.0011	0.022	0.007	0.00008	0.005	0.0002
2001	0.028	0.017	0.0010	0.021	0.0083	0.00015	0.0054	0.00
2002	0.050	0.025	0.0011	0.021	0.0002	0.00022	0.0059	0.00
2003	0.050	0.007	0.0012	0.020	0.0081	0.00029	0.0041	0.0021
2004	0.021	0.021	0.0008	0.018	0.0069	0.00037	0.00023	0.0061
2005	0.021	0.013	0.0009	0.018	0.0059	0.00043	0.00023	0.007

Anexo C2. Tabla de porcentajes del TDPA por categoría vehicular. Fuente: elaboración propia con información de CAPUFE.

## Anexo D. TDPA equivalente para tres tipos de terreno

Categoría vehicular Año 1991	Unidades vehiculares	Factor vehicular equivalente (tres tipos de terreno)	Vehículos equivalentes (tres tipos de terrenos)	TDPA equivalente
A	6'227, 995	1.64	19'213, 912	27, 983
B2	241, 547	2.55	615, 945	1, 688
B3	0	2.55	0	0
B4	0	2.55	0	0
C2	39, 170	3.42	133, 961	367
C3	6, 528	3.42	22, 326	61
C4	0	5.13	0	0
C5	6, 528	5.13	33, 489	91
C6	5, 273	5.13	27, 050	74
C7	1, 150	7.15	8, 637	24
C8	105	7.51	789	2
C9	0	7.51	0	0

Anexo D1. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 1991. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

Categoría vehicular Año 1992	Unidades vehiculares	Factor vehicular equivalente (tres tipos de terreno)	Vehículos equivalentes (tres tipos de terrenos)	TDPA equivalente
A	6'970, 770	1.64	11'432, 063	31, 321
B2	566, 275	2.55	1'444, 001	3, 956
B3	0	2.55	0	0
B4	0	2.55	0	0
C2	374, 858	3.42	1'282, 014	3, 512
C3	7, 978	3.42	27, 285	75
C4	0	5.13	0	0
C5	15, 951	5.13	81, 829	224
C6	16, 269	5.15	83, 460	229
C7	3, 489	5.13	26, 202	72
C8	4, 620	7.51	34, 696	95
C9	15, 400	7.51	115, 654	316

Anexo D2. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 1992. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

Categoría vehicular Año 1993	Unidades vehiculares	Factor vehicular equivalente (tres tipos de terreno)	Vehículos equivalentes (tres tipos de terrenos)	TDPA equivalente
A	7'281, 020	1.64	11'940, 873	32, 715
B2	650, 393	2.55	1'658, 502	4, 544
B3	0	2.55	0	0
B4	0	2.55	0	0
C2	396, 993	3.42	1'344, 840	3, 684
C3	8, 447	3.42	67, 576	185
C4	0	5.13	0	0
C5	25, 340	5.13	129, 994	356
C6	12, 316	5.13	63, 181	173
C7	3, 489	7.51	61, 406	72
C8	2, 465	7.51	18, 512	52
C9	5, 400	7.51	115, 654	316

Anexo D3. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 1993. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

Categoría vehicular Año 1994	Unidades vehiculares	Factor vehicular equivalente (tres tipos de terreno)	Vehículos equivalentes (tres tipos de terrenos)	TDPA equivalente
A	7'772, 856	1.64	12'747, 484	34, 925
B2	504, 226	2.55	1'285, 776	3, 523
B3	39, 435	2.55	100, 559	276
B4	641	2.555	1, 635	4
C2	506, 853	3.42	1'733, 437	4, 749
C3	138, 188	3.42	476, 023	1, 304
C4	8, 415	3.42	43, 169	118
C5	91, 943	5.13	471, 668	1, 292
C6	65, 036	5.13	333, 635	914
C7	514	7.51	3, 860	11
C8	9, 897	7.51	74, 326	203
C9	6, 534	7.51	49, 070	134

Anexo D4. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 1994. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

Categoría vehicular Año 1995	Unidades vehiculares	Factor vehicular equivalente (tres tipos de terreno)	Vehículos equivalentes (tres tipos de terrenos)	TDPA equivalente
A	6'791, 514	1.64	11'138, 083	30, 515
B2	625, 285	2.55	1'594, 477	4, 368
B3	89, 033	2.55	227, 034	622
B4	254	2.55	648	2
C2	249, 240	3.42	852, 401	2, 335
C3	91, 192	3.42	311, 877	854
C4	7, 518	5.13	38, 567	105
C5	88, 160	5.13	452, 261	1, 239
C6	47, 991	5.13	246, 193	674
C7	2, 349	7.51	17, 641	48
C8	15, 121	7.51	113, 559	311
C9	0	7.51	0	0

Anexo D5. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 1995. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

Categoría vehicular Año 1996	Unidades vehiculares	Factor vehicular equivalente (tres tipos de terreno)	Vehículos equivalentes (tres tipos de terrenos)	TDPA equivalente
A	6'587, 703	1.64	10'803, 833	29, 600
B2	575, 775	2.55	1'468, 226	4, 023
B3	95, 227	2.55	242, 956	666
B4	203	2.55	518	1
C2	254, 024	3.42	868, 762	2, 380
C3	107, 840	3.42	368, 813	1, 010
C4	8, 733	5.13	44, 800	122
C5	103, 377	5.13	530, 324	1, 453
C6	48, 661	5.13	249, 631	684
C7	2, 897	7.51	21, 756	80
C8	9, 811	7.51	73, 681	201
C9	0	7.51	0	0

Anexo D6. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 1996. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

Categoría vehicular Año 1997	Unidades vehiculares	Factor vehicular equivalente (tres tipos de terreno)	Vehículos equivalentes (tres tipos de terrenos)	TDPA equivalente
A	6'562,772	1.64	10'762,946	29,488
B2	610,083	2.55	1'555,712	4,622
B3	86,642	2.55	220,937	605
B4	203	2.55	518	1
C2	245,673	3.42	840,202	2,302
C3	124,184	3.42	424,709	1,164
C4	10,607	5.13	54,414	149
C5	129,111	5.13	662,339	1,815
C6	59,645	5.13	305,979	838
C7	2,829	7.51	21,246	58
C8	13,607	7.51	102,189	279
C9	0	7.51	0	0

Anexo D7. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 1997. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

Categoría vehicular Año 1998	Unidades vehiculares	Factor vehicular equivalente Tres tipos de terreno	Vehículos equivalentes tres tipos de terrenos	TDPA equivalente
A	6'999,183	1.64	11'478,660	31,448
B2	576,684	2.55	1'470,544	4,029
B3	91,320	2.55	232,286	638
B4	297	2.55	757	2
C2	358,230	3.42	883,147	2,420
C3	146,308	3.42	500,373	1,371
C4	11,716	5.13	60,103	165
C5	156,330	5.13	801,973	2,197
C6	60,163	5.13	308,636	846
C7	3,152	7.51	23,672	65
C8	18,887	7.51	141,841	308
C9	1,174	7.51	8,817	24

Anexo D8. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 1998. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

Categoría vehicular Año 1999	Unidades vehiculares	Factor vehicular equivalente (tres tipos de terreno)	Vehículos equivalentes (tres tipos de terrenos)	TDPA equivalente
A	7'106, 247	1.64	11'654, 245	31, 921
B2	726, 801	2.55	1'853, 343	5, 078
B3	49, 106	2.55	125, 220	343
B4	1, 413	2.55	3, 603	10
C2	389, 078	3.42	1'330, 647	8, 528
C3	91, 470	3.42	312, 827	857
C4	4, 275	5.13	21, 931	60
C5	80, 711	5.13	414, 047	1, 134
C6	30, 102	5.13	154, 423	423
C7	330	7.51	2, 478	7
C8	3, 933	7.51	29, 537	81
C9	1, 365	7.51	10, 251	20

Anexo D9. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 1999. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

Categoría vehicular Año 2000	Unidades vehiculares	Factor vehicular equivalente (tres tipos de terreno)	Vehículos equivalentes (tres tipos de terrenos)	TDPA equivalente
A	7'264, 756	1.64	11'914, 200	32, 642
B2	558, 034	2.55	1'422, 987	3, 899
B3	166, 932	2.55	425, 677	1, 166
B4	156	2.55	398	1
C2	260, 538	3.42	891, 040	2, 441
C3	151, 402	3.42	517, 183	1, 419
C4	10, 367	5.13	53, 183	145
C5	192, 642	5.13	988, 253	2, 708
C6	61, 116	5.13	313, 525	859
C7	835	7.51	6, 271	17
C8	43, 542	7.51	327, 000	896
C9	1, 855	7.51	13, 931	38

Anexo D10. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 2000. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y SCT.

Categoría vehicular Año 2001	Unidades vehiculares	Factor vehicular equivalente (tres tipos de terreno)	Vehículos equivalentes (tres tipos de terrenos)	TDPA equivalente
A	8'044, 830	1.64	13'193, 521	36, 147
B2	532, 757	2.55	1'358, 530	3, 722
B3	158, 802	2.55	404, 945	1, 109
B4	160	2.55	408	1
C2	270, 006	3.42	923, 421	2, 530
C3	159, 181	3.42	544, 399	1, 492
C4	10, 278	5.13	52, 726	144
C5	204, 053	5.13	1'046, 792	2, 868
C6	79, 029	5.13	405, 792	1, 111
C7	1, 364	7.51	10, 244	28
C8	51, 761	7.51	388, 725	1, 065
C9	6	7.51	0	0

Anexo D11. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 2001. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

Categoría vehicular Año 2002	Unidades vehiculares	Factor vehicular equivalente (tres tipos de terreno)	Vehículos equivalentes (tres tipos de terrenos)	TDPA equivalente
A	8'452, 968	1.64	13'862, 868	37, 980
B2	204, 709	2.55	1'023, 545	2, 804
B3	75, 528	2.55	192, 596	527
B4	217	2.55	553	2
C2	499, 626	3.42	1'708, 721	4, 681
C3	251, 813	3.42	861, 200	2, 359
C4	11, 379	5.13	58, 374	160
C5	205, 208	5.13	1'052, 717	2, 884
C6	82, 135	5.13	421, 353	1, 154
C7	2, 114	7.51	15, 876	43
C8	58, 722	7.51	441, 002	1, 208
C9	17	7.51	127	0

Anexo D12. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 2002. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

Categoría vehicular Año 2003	Unidades vehiculares	Factor vehicular equivalente (tres tipos de terreno)	Vehículos equivalentes tres tipos de terrenos	TDPA equivalente
A	8'844, 769	1.64	14'505, 421	39, 741
B2	180, 646	2.55	460, 647	1, 262
B3	79, 711	2.55	203, 263	557
B4	407	2.55	1, 308	3
C2	547, 031	3.42	1'870, 846	5, 126
C3	269, 128	3.42	920, 418	2, 522
C4	12, 190	5.13	62, 535	171
C5	201, 664	5.13	1'034, 536	2, 834
C6	81, 880	5.13	420, 044	1, 501
C7	3, 069	7.51	23, 048	63
C8	41, 973	7.51	315, 217	864
C9	22, 108	7.51	166, 031	455

Anexo D13. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 2003. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

Categoría vehicular Año 2004	Unidades vehiculares	Factor de vehicular equivalente (tres tipos de terreno)	Vehículos equivalentes (tres tipos de terrenos)	TDPA equivalente
A	9'199, 665	1.64	15'087, 451	41, 335
B2	512, 588	2.55	1'307, 099	3, 581
B3	210, 263	2.55	536, 171	1, 468
B4	3, 483	2.55	8, 882	24
C2	227, 871	3.42	95, 319	261
C3	144, 354	3.42	493, 691	1, 353
C4	8, 581	5.13	44, 021	121
C5	201, 463	5.13	1'033, 505	2, 832
C6	74, 617	5.13	382, 785	1, 049
C7	3, 822	7.51	28, 703	79
C8	2, 595	7.51	19, 488	53
C9	65, 777	7.51	493, 985	1, 353

Anexo D14. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares, 2004. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

## Anexo E. Ingresos percibidos por el gobierno

Año	Unidades vehiculares Clase A	Tarifa vehículo A	Ingresos (\$)
1991	6'227, 995	17	105'875, 915
1992	6'970, 770	20	139'415, 400
1993	7'281, 020	25	182'025, 500
1994	7'772, 675	25	194'316, 875
1995	6'791, 555	30	203'746, 650
1996	6'587, 995	38	250'339, 630
1997	6'562, 335	46	301'867, 410
1998	6'999, 240	50	349'962, 000
1999	7'106, 185	60	426'371, 100
2000	7'264, 595	68	493'992, 460
2001	8'044, 965	70	563'147, 550
2002	8'453, 035	75	633'977, 625
2003	8'881, 180	75	666'088, 500
2004	9'449, 460	80	735'956, 800
2005	9'577, 965	80	766'237, 200
2006	9'907, 440	85	842'142,600

Anexo E1. Unidades vehiculares, tarifa e ingresos de la categoría A. Fuente, elaboración propia con datos de CAPUFE.

Año	Unidades vehiculares Clase B2	Tarifa vehículo B2	Ingresos (\$)
1991	241, 547	34	8'212, 598
1992	566, 275	37	20'952, 175
1993	650, 393	37	24'064, 541
1994	504, 226	40	20'169, 040
1995	625, 285	48	30'013, 680
1996	575, 775	61	35'122, 275
1997	610, 083	77	46'976, 391
1998	576, 684	88	50'748, 192
1999	726, 801	106	77'040, 906
2000	558, 034	120	66'964, 080
2001	532, 757	125	66'594, 625
2002	204, 709	130	26'612, 170
2003	180, 646	130	23'483, 980
2004	512, 588	135	69'199, 380
2005	566, 076	145	82'081, 020
2006	606, 334	145	87'918, 430

Anexo E2. Unidades vehiculares, tarifa e ingresos de la categoría B2. Fuente, elaboración propia con datos de CAPUFE.

Año	Unidades vehiculares Clase B3	Tarifa vehículo B3	Ingresos (\$)
1991	0	51	0
1992	0	54	0
1993	0	54	0
1994	39, 435	60	2'366, 100
1995	89, 033	72	6'410, 376
1996	95, 227	61	5'808, 847
1997	86, 642	77	6'671, 434
1998	91, 320	88	8'036, 160
1999	49, 106	106	5'205, 236
2000	166, 932	120	20'031, 840
2001	158, 802	125	19'850, 250
2002	75, 528	130	9'818, 640
2003	79, 711	130	10'362, 430
2004	210, 263	135	28'385, 505
2005	210, 543	140	29'476, 020
2006	225, 218	145	32'656, 610

Anexo E3. Unidades vehiculares, tarifa e ingresos de la categoría B3. Fuente, elaboración propia con datos de CAPUFE.

Año	Unidades vehiculares Clase B4	Tarifa vehículo B4	Ingresos (\$)
1991	0	51	0
1992	0	54	0
1993	0	54	0
1994	641	60	38, 460
1995	254	72	18, 288
1996	203	61	12, 383
1997	203	77	15, 631
1998	297	88	26, 136
1999	1, 413	106	149, 778
2000	156	120	18, 720
2001	160	125	20, 000
2002	217	130	28, 210
2003	407	130	52, 910
2004	3, 483	135	470, 205
2005	2, 615	140	366, 100
2006	2, 628	145	381, 060

Anexo E4. Unidades vehiculares, tarifa e ingresos de la categoría B4. Fuente, elaboración propia con datos de CAPUFE.

Año	Unidades vehiculares Clase C2	Tarifa vehículo C2	Ingresos (\$)
1991	39, 170	34	1'331, 780
1992	374, 858	37	13'869, 746
1993	396, 993	37	14'688, 741
1994	506, 853	40	20'274, 120
1995	249, 240	48	11'963, 520
1996	254, 024	61	15'495, 464
1997	245, 673	77	18'916, 821
1998	358, 230	88	31'524, 240
1999	389, 078	106	41'242, 268
2000	260, 538	120	31'264, 560
2001	270, 006	125	33'750, 750
2002	499, 626	130	64'951, 380
2003	547, 031	130	71'114, 030
2004	227, 871	134	30'534, 714
2005	237, 014	130	30'811, 820
2006	234, 126	140	32'777, 640

Anexo E5. Unidades vehiculares, tarifa e ingresos de la categoría C2. Fuente, elaboración propia con datos de CAPUFE.

Año	Unidades vehiculares Clase C3	Tarifa vehículo C3	Ingresos (\$)
1991	6, 528	51	332, 928
1992	7, 978	54	430, 812
1993	8, 447	54	456, 138
1994	138, 188	60	8'291, 280
1995	91, 192	72	6'565, 824
1996	107, 840	61	6'578, 240
1997	124, 184	77	9'562, 168
1998	146, 308	88	12'875, 104
1999	91, 470	106	9'695, 820
2000	151, 402	120	18'168, 240
2001	159, 181	125	19'897, 625
2002	251, 813	130	32'735, 690
2003	269, 128	130	34'986, 640
2004	144, 354	134	19'343, 436
2005	145, 156	139	20'176, 684
2006	123, 329	140	17'266, 060

Anexo E6. Unidades vehiculares, tarifa e ingresos de la categoría C3. Fuente, elaboración propia con datos de CAPUFE.

Año	Unidades vehiculares Clase C4	Tarifa vehículo C4	Ingresos (\$)
1991	0	68	0
1992	0	71	0
1993	0	71	0
1994	8, 415	80	673, 200
1995	7, 518	96	721, 728
1996	8, 733	113	986, 829
1997	10, 607	135	1' 431, 945
1998	11, 716	162	1' 897, 992
1999	4, 275	184	786, 600
2000	10, 367	210	2' 177, 070
2001	10, 278	125	1' 284, 750
2002	11, 379	130	1' 479, 270
2003	12, 190	130	1' 584, 700
2004	8, 581	134	1' 149, 854
2005	9, 652	139	1' 341, 628
2006	8, 694	140	1' 217, 160

Anexo E7. Unidades vehiculares, tarifa e ingresos de la categoría C4. Fuente, elaboración propia con datos de CAPUFE.

Año	Unidades vehiculares Clase C5	Tarifa vehículo C5	Ingresos (\$)
1991	6, 528	85	554, 880
1992	15, 951	88	1' 403, 688
1993	23, 340	88	2' 229, 920
1994	91, 943	100	9' 194, 300
1995	88, 160	120	10' 579, 200
1996	103, 377	113	11' 681, 601
1997	129, 111	135	17' 429, 985
1998	156, 330	152	23' 762, 160
1999	80, 711	184	14' 850, 824
2000	192, 642	210	40' 454, 820
2001	204, 053	215	43' 871, 395
2002	205, 208	225	46' 171, 800
2003	201, 664	130	26' 216, 320
2004	201, 463	233	46' 940, 879
2005	200, 356	240	48' 085, 440
2006	195, 130	250	48' 782, 500

Anexo E8. Unidades vehiculares, tarifa e ingresos de la categoría C5. Fuente, elaboración propia con datos de CAPUFE.

Año	Unidades vehiculares Clase C6	Tarifa vehículo C6	Ingresos (\$)
1991	5, 273	102	537, 846
1992	16, 269	105	1'708, 245
1993	12, 316	105	1'293, 180
1994	65, 036	115	7'479, 140
1995	47, 991	140	6'718, 740
1996	48, 661	166	8'077, 726
1997	59, 645	198	11'809, 710
1998	60, 163	223	13'416, 349
1999	30, 102	285	8'579, 070
2000	61, 116	305	18'640, 380
2001	79, 029	215	16'991, 235
2002	82, 135	225	18'480, 375
2003	81, 880	225	18'480, 375
2004	74, 617	233	17'385, 761
2005	65, 654	240	15'756, 960
2006	64, 511	250	16'127, 750

Anexo E9. Unidades vehiculares, tarifa e ingresos de la categoría C6. Fuente, elaboración propia con datos de CAPUFE.

Año	Unidades vehiculares Clase C7	Tarifa vehículo C7	Ingresos (\$)
1991	1, 150	119	136, 850
1992	3, 489	122	425, 658
1993	3, 489	122	425, 780
1994	514	135	69, 390
1995	2, 349	161	378, 189
1996	2, 897	166	480, 902
1997	2, 829	198	560, 142
1998	3, 152	223	702, 896
1999	330	285	94, 050
2000	835	305	254, 675
2001	1, 364	315	429, 660
2002	2, 114	330	697, 620
2003	3, 069	330	1'012, 770
2004	3, 822	342	1'307, 124
2005	4, 901	365	1'788, 865
2006	4, 623	365	1'687, 395

Anexo E10. Unidades vehiculares, tarifa e ingresos de la categoría C7. Fuente, elaboración propia con datos de CAPUFE.

Año	Unidades vehiculares Clase C8	Tarifa vehículo C9	Ingresos (\$)
1991	105	136	14, 280
1992	4, 620	139	642, 180
1993	2, 465	139	342, 635
1994	9, 897	155	1'534, 035
1995	15, 121	186	2'812, 506
1996	9, 811	166	1'628, 626
1997	13, 607	198	2'694, 186
1998	18, 887	223	4'211, 801
1999	3, 933	285	1'120, 905
2000	43, 542	305	13'280, 310
2001	51, 761	315	16'304, 715
2002	58, 722	330	19'378, 260
2003	41, 973	330	13'851, 090
2004	2, 595	342	887, 490
2005	2, 662	350	931, 700
2006	4, 122	365	1'504, 530

Anexo E11. Unidades vehiculares, tarifa e ingresos de la categoría C8. Fuente, elaboración propia con datos de CAPUFE.

Año	Unidades vehiculares Clase C9	Tarifa vehículo C9	Ingresos (\$)
1991	0	136	0
1992	15, 400	139	2'140, 600
1993	15, 400	139	2'140, 600
1994	6, 534	155	1'012, 770
1995	0	186	0
1996	0	166	0
1997	0	198	0
1998	1, 174	223	261, 802
1999	1, 365	285	389, 025
2000	1, 855	305	565, 775
2001	6	315	1, 890
2002	17	330	5, 610
2003	22, 108	330	7'295, 640
2004	65, 777	342	22'495, 734
2005	75, 075	350	26'276, 250
2006	79, 274	365	28'935, 010

Anexo E12. Unidades vehiculares, tarifa e ingresos de la categoría C9. Fuente, elaboración propia con datos de CAPUF

## Anexo F. Tarifas de cuota, Autopista México – Cuernavaca

Vehículo	1991 (\$)	1992 (\$)	1993 (\$)	1994 (\$)	1995 (\$)	1996 (\$)	1997 (\$)	1998 (\$)	1999 (\$)	2000 (\$)
A	17	20	25	25	30	38	36	50	50	68
B2	34	37	37	40	48	61	77	88	106	120
B3	51	54	54	60	72	61	77	88	106	120
B4	68	71	71	80	96	77	77	88	106	120
C2	34	37	37	40	48	61	77	88	106	120
C3	51	54	54	60	72	61	77	88	106	120
C4	68	71	71	80	96	113	135	162	184	210
C5	85	88	88	100	120	113	135	152	184	210
C6	102	105	105	115	140	166	198	223	285	305
C7	119	122	122	135	161	166	198	223	285	305
C8	136	139	139	155	186	166	198	223	285	305
C9	X	X	X	X	X	166	198	223	285	305

Anexo F1. Tarifas de cuota de las categorías vehiculares. Autopista México – Cuernavaca . Fuente: elaboración propia con información de CAPUFE.

Vehículo	2001 (\$)	2002 (\$)	2003 (\$)	2004 (\$)	2005 (\$)	2006 (\$)
A	70	75	75	80	80	85
B2	125	130	130	135	140	145
B3	125	130	130	135	140	145
B4	125	130	130	135	140	145
C2	125	130	130	134	139	140
C3	125	130	130	134	139	140
C4	125	130	130	134	139	140
C5	215	225	130	233	240	250
C6	215	225	225	233	240	250
C7	315	330	225	342	350	365
C8	315	330	330	342	350	365
C9	315	330	330	342	350	365

Anexo F2. Tarifas de cuota de las categorías vehiculares. Autopista México – Cuernavaca. Fuente: elaboración propia con información de CAPUFE.

## Anexo G. Costos de Deterioro, Autopista México – Cuernavaca

Año	Costos de deterioro (\$)/año
1991	18, 730
1992	23, 000
1993	24, 970
1994	29, 930
1995	36, 500
1996	47, 450
1997	54, 750
1998	73, 000
1999	80, 300
2000	87, 600
2001	102, 220
2002	113, 150
2003	120, 450
2004	138, 700
2005	138, 700
2006	142, 350

Anexo G1. Costos de deterioro producidos por la clase vehicular A en carpeta de rodamiento

## Anexo H. Costos operativos

Año	Costos operativos (\$)/año
1991	29'461, 471
1992	45'247, 126
1993	57'686, 234
1994	64'271, 985
1995	69'982, 175
1996	84'053, 131
1997	104'483, 956
1998	124'297, 508
1999	147'176, 217
2000	176'453, 233
2001	194'780, 010
2002	213'584, 163
2003	218'632, 346
2004	243'514, 221
2005	255'832, 422
2006	

Anexo H1. Costos de Operación, Autopista México - Cuernavaca

## Anexo I. Aforo, Autopista Cuernavaca - México

Horario	Vehículos A	V. Pesados	Autobuses	Total
18:31	6	--	--	6
18:32	9	0	1	10
18:33	4	1	0	5
18:34	9	0	0	9
18:35	6	0	1	7
18:36	10	0	1	11
18:37	3	1	0	4
18:38	6			6
18:39	3	0	0	3
18:40	4	0	0	4
18:41	3		1	4
18:42	6	0	0	6
18:43	6	0	0	6
18:44	7	1	0	8
18:45	7	0	0	7
18:46	7	0	1	8
18:47	7	1	0	8
18:48	5	1	0	6
18:49	11	0	1	12
18:50	14	0	0	14
18:51	7	1	1	9
18:52	5	0	1	6
18:53	11	0	1	12
18:54	8	1	0	9
18:55	8	0	1	9
18:56	8	0	1	9
18:57	6	1	1	8
18:58	7	1	0	8
18:59	6	1	0	7
19:00	9	2	0	11
19:01	6	0	1	7
19:02	10	0	0	10
19:03	8	0	1	9
19:04	7	0	0	7
19:05	6	1	0	7

19:06	5	0	1	6
19:07	6	0	1	7
19:08	8	1	0	9
19:09	9	0	0	9
19:10	10			10
19:11	8	0	1	9
19:12	6	1	1	8
19:13	6	0	0	6
19:14	7	1	1	9
19:15	7	1	1	9
19:16	7	0	1	8
19:17	3	0	0	3
19:18	2	1	0	3
19:18	6	1	1	8
19:20	7	0	0	7
19:21	6	0	0	6
19:22	6	0	1	7
19:23	7	0	0	7
19:24	6	0	1	7
19:25	6	0	0	6
19:26	4	1	0	5
19:27	7	0	1	8
19:28	10	0	0	10
19:29	10	0	0	10
19:30	6	1	0	7
19:31	5	0	1	6
Suma	415	21	26	462

Anexo II, Vehículos aforados, sentido Cuernavaca - México

## Anexo J. Factor Ponderado de vehículos equivalentes

	Montaña	Loma	Plano	Suma
Longitud tramo	L = 6 km	L = 26 km	L = 25 km	57 km
Porcentaje	$6/57 = 0.1053$	$26/57 = 0.4561$	$25/57 = 0.4386$	
Factor (auto)	2.7	2	1	
Ponderación	$2.7 * 0.1053 = 0.28431$	$2 * 0.45386 = 0.9122$	$1 * 0.4386 = 0.4386$	1.63511

Anexo J1. Autos A equivalentes

	Montaña	Loma	Plano	Suma
	L = 6 km	L = 26 km	L = 25 km	57 km
Porcentaje	$6/57 = 0.1053$	$26/57 = 0.4561$	$25/57 = 0.4386$	
Factor (Bús)	5	3	1.5	
Ponderación	$5 * 0.1053 = 0.5265$	$3 * 0.4561 = 1.3683$	$1.5 * 0.4386 = 0.6579$	2.5527

Anexo J3. Autobús B2, B3 y B4 equivalentes

	Montaña	Loma	Plano	Suma
Longitud tramo	L = 6 km	L = 26 km	L = 25 km	57 km
Porcentaje	$6/57 = 0.1053$	$26/57 = 0.4561$	$25/57 = 0.4386$	
Factor (Camión)	8	4	1.7	
Ponderación	$8 * 0.1053 = 4.854$	$4 * 0.45386 = 1.8244$	$1.7 * 0.4386 = 0.7456$	= 3.4204

Anexo J4. Camiones C2 y C3 Equivalentes

	Montaña	Loma	Plano	Suma
Longitud tramo	L = 6 km	L = 26 km	L = 25 km	57 km
Porcentaje	$6/57 = 0.1053$	$26/57 = 0.4561$	$25/57 = 0.4386$	
Factor (Camión)	12	6	2.58	
Ponderación	$12 * 0.1053 = 1.2756$	$6 * 0.4561 = 2.7365$	$2.58 * 0.4386 = 1.1184$	= 5.1305

Anexo J5. Camiones C4, C5, C6

	Montaña	Loma	Plano	Suma
Longitud tramo	L = 6 km	L = 26 km	L = 25 km	57kKm
Porcentaje	$6/57 = 0.1053$	$26/57 = 0.4561$	$25/57 = 0.4386$	
Factor (Camión)	17.6	8.8	3.74	
Ponderación	$17.6 * 0.1053 = 1.8533$	$8.8 * 0.4561 = 4.0137$	$3.74 * 0.4386 = 1.6404$	7.5074

Anexo J5. Camiones C7, C8, C9

## Anexo K. Determinación del valor del tiempo de traslado de los usuarios en situaciones libres de congestión

Para determinar el tiempo de viaje se utiliza la ecuación:

$$V = \frac{d}{t}$$

Donde:

$V = 100$  km (Condiciones sin congestión).

$d = 57$  km a partir de de Km. 18 + 0.00 hasta Km. 80 + 0.00).

Despejando el tiempo se tiene:

$$t = \frac{d}{V} = \frac{57}{100} = 0.57$$

0.57 Hora = 34 minutos, 12 segundos, tiempo que emplea un vehículo por trasladarse de México a Cuernavaca y/o viceversa.

### Información adicional

Para complementar y tener toda la información disponible, se requiere:

a) El número promedio de pasajeros incluyendo el conductor. El valor de la ocupación vehicular es = 2.75 como promedio de la ocupación vehicular entre los valores de Cal y Mayor, *et al*, (1990) que propone 2.9 viajeros por vehículo clase A y la Secretaria de Comunicaciones y Transporte indica que es de 2.6

b) El valor por tiempos de traslado equivalentes a \$ 531.00, correspondientes a 10.62 salarios mínimos de ingreso medio de la población ocupada para una jornada de 8 horas en el Distrito Federal para el año 2000. (Gonzales E. "El Costo de oportunidad social de la obra de mano en México").

Por lo tanto, es evidente que para calcular los costos de traslado de los usuarios se puede formular la expresión siguiente:

$$CTU = \frac{q_o * (Ocupacion.Vehicular) * t * \$531.00}{Jornada} \quad [K-1]$$

Esta ecuación [3.8], se puede reescribir como:

$$CTU = \frac{q_o * OV * t * \$531.00}{Jornada} \quad [K-2]$$

Donde:

$CTU$ , Es el costo del tiempo de los usuarios cuando no se tiene congestión esta dado en (\$)

$q_o = \text{flujo.vehicular} < 1,600v / h / \text{carril}$

$OV$ , Es la ocupación vehicular = 2.75

$t$ , Es el valor del tiempo de traslado expresado en horas

$Jornada = 8.0 \text{ horas}$

Para determinar los costos de traslado se construye la tabla siguiente y se utiliza [K-2]

Año	$q_o$ (v/h/carril) México - Cuernavaca	$q_o$ (v/h/2.79 carriles) México - Cuernavaca	$CTU = \frac{q_o * OV * t * \$531.00}{Jornada}$
1991	422	1,177	122,458.39
1992	447	1,247	129,741.38
1993	492	1,373	142,850.78
1994	714	1,992	207,253.28
1995	503	1,403	145,972.06
1996	404	1,127	117,256.25
1997	481	1,342	139,625.45
1998	507	1,415	147,220.58
1999	555	1,538	161,058.27
2000	585	1,632	169,797.87
2001	642	1,791	186,340.67
2002	674	1,880	195,600.48
2003	705	1,967	204,652.21
2004	874	2,438	253,656.37
2005	586	1,635	170,109.99

Anexo K1. Costos de traslado de los usuarios de la autopista México – Cuernavaca en condiciones no congestionadas de la autopista. Fuente: elaboración propia con información de Datos Viales. SCT.

## Anexo L. Aplicación en México utilizando el Modelo de Vergara C.

### Ejemplo uno

Se trata de determinar la  $(TC)$  para el año 2005 con los datos de la Tabla 2.8

**Solución:** Si se utilizan [2.4] y los datos de la 3ª y 5ª columna de la Tabla 2.8 se obtendría un costo por transitar de:

$$\sum_{j=1}^T m_j(q_j, Q^o) \sum_{j=1}^T \tau(q_j) = Ingresos$$

$$\tau_{Año.2005} = \frac{29'818,470.00}{26,241} = \$3.11$$

Con el mismo procedimiento se puede determinar la  $(\tau)$  para los años de 1991 a 2004.

El valor de \$ 3.11 es la tarifa a cobrar para enfrentar los costos de mantenimiento, este rubro incluye reconstrucción de tramos, conservación periódica y conservación rutinaria.

### Ejemplo dos

Considerando que, en el ejemplo uno, los costos de mantenimiento están generalizados (se incluyen todos los vehículos y las labores de mantenimiento incluyen la reparación por deterioro de la carpeta), se deberá considerar este desgaste provocado por los automóviles en el pavimento y con ello determinar el costo de mantenimiento por descarga de vehículo tipo A.

De acuerdo con lo anterior, se requiere la siguiente información:

1. Daño unitario  $(DU)$  provocado por un automóvil en el pavimento = 0.0005. Este dato proviene del “Análisis económico del comportamiento de secciones estructurales de carreteras en diversas circunstancias”, IMT, 1995, p. 15.
  2. Inflación acumulada a partir de 1991 y hasta 2005 (apéndice D de este documento).
  3.  $(TDPA)$  (categoría A) 2005 = 26,241 (Datos viales 2006, SCT).
  4. Longitud de la autopista México-Cuernavaca = 57.00 km (km 23+00, localizado en la plaza de cobro Tlalpan, y km 80+00, en el entronque de entrada a Cuernavaca).
- Con los datos de la Tabla 2.8, se construye la Tabla L1.

( <i>TDPA</i> ) y año para un vehículo tipo A	Equivalencia ESAL Daño unitario	( <i>TDPA</i> ) Equivalente ESALs	Veh-km/día ESAL ( $10^3$ )	Costo de deterioro ( <i>CD</i> ) (Vehículo – km). \$ 84 ÷ 1000	Costo de mantenimiento / día	Costos por año de autos para mantenimiento ( $10^3$ )
17,063 <sub>1991</sub>	0.0005	9	0.513	84*1.1879 = 0.10	0.0513	18.73
19,098 <sub>1992</sub>	0.0005	10	0.570	84*1.3290 = 0.11	0.063	23.00
19,948 <sub>1993</sub>	0.0005	10	0.570	84*1.4362 = 0.12	0.0684	24.97
21,295 <sub>1994</sub>	0.0005	11	0.627	84*1.5375 = 0.13	0.082	29.93
18,607 <sub>1995</sub>	0.0005	9	0.513	84*2.3365 = 0.20	0.10	36.50
18,049 <sub>1996</sub>	0.0005	9	0.513	84*2.9837 = 0.25	0.13	47.45
17,979 <sub>1997</sub>	0.0005	9	0.513	84*3.4528 = 0.29	0.15	54.75
19,176 <sub>1998</sub>	0.0005	10	0.570	84*4.0954 = 0.34	0.20	73.00
19,469 <sub>1999</sub>	0.0005	10	0.570	84*4.5999 = 0.39	0.22	80.30
19,903 <sub>2000</sub>	0.0005	10	0.570	84*5.0121 = 0.42	0.24	87.60
22,041 <sub>2001</sub>	0.0005	11	0.627	84*5.2360 = 0.44	0.28	102.20
23,159 <sub>2002</sub>	0.0005	12	0.684	84*5.5300 = 0.46	0.31	113.15
24,332 <sub>2003</sub>	0.0005	12	0.684	84*5.7510 = 0.48	0.33	120.45
25,204 <sub>2004</sub>	0.0005	13	0.741	84*6.049 = 0.508	0.38	138.70
26,241 <sub>2005</sub>	0.0005	12	0.741	84*6.249 = 9.525	0.39	142,35

Anexo L1. Costo de deterioro provocado por la clase vehicular A. Fuente: elaboración propia con información de CAPUFE.

El análisis de la Tabla L1, proporciona los siguientes conceptos:

1. La 1ª columna registra el (*TDPA*) de vehículos ligeros.
2. La 2ª columna, aporta el daño unitario (*DU*) que produce un automóvil en el pavimento de la autopista. Este dato proviene del Manual de Capacidad Vial, página 12, SCT.
3. La 3ª columna tiene la equivalencia que resulta de operar el (*TDPA*) por él (*DU*).
4. La 4ª columna presenta el costo vehículo – kilómetro y resulta de operar la 4ª columna por la longitud del tramo (57 km es la longitud de la autopista medida desde la caseta de Tlalpan a la desviación a Cuernavaca).
5. La 5ª columna registra el costo de deterioro (*CD*) afectado por la inflación acumulada.
6. La columna 6ª ofrece el costo de mantenimiento por día y resulta de operar la 5ª columna por la 6ª.
7. La 7ª columna contiene el importe del mantenimiento en el año por motivos de tránsito de los vehículos tipo A.

**Solución:**

Si se utiliza [2.4], los datos de la 8ª columna de la Tabla 2.8 para el año 2005, sustituyendo datos y despejando  $\tau$ , se obtendría un costo de tarifa:

$$\sum_{j=1}^T m_j(q_j, Q^o) \sum_{j=1}^T \tau(q_j) = Ingresos$$

$$\tau = \frac{142,350}{26,241 * 365} = \$0.015$$

El valor de \$ 0.015 es una cuota a cobrar a un automóvil para enfrentar los costos de mantenimiento por deterioro de la carpeta para el año 2005.

Para complementar el ejemplo dos y la utilización de [L1], se han calculado los valores de la tarifa de cuota para el escenario comprendido desde 1991 hasta 2005. En Tabla L2 se proporcionan los resultados.

Año	Cuota por deterioro / auto / año (\$)
1991	0.0030
1992	0.0032
1993	0.0034
1994	0.0039
1995	0.0054
1996	0.0072
1997	0.0083
1998	0.0104
1999	0.0113
2000	0.0120
2001	0.0127
2002	0.0133
2003	0.0136
2004	0.0150
2005	0.0150

Anexo L2. Valores de la tarifa de cuota para cubrir los costos por deterioro de la carpeta, utilizando el modelo adaptado de Vergara C., Fuente: elaboración propia.

### Ejemplo tres

Etapas de construcción de la autopista y actividades de mantenimiento.

La autopista México – Cuernavaca tiene una longitud real de la autopista (desde la plaza de cobro (Kilometraje 0 + 23.00) hasta el entronque de entrada a Cuernavaca) de 57 km. Se ha considerado un costo de construcción de \$ 55'000, 000/km. y un periodo de cuatro años a partir de 1996. Al final de la construcción (2000), se iniciará la operación del servicio y, durante los cinco años siguientes, la carpeta sufrirá el deterioro por el paso de los vehículos requiriéndose el mantenimiento para conservarla en condiciones adecuadas.

Datos adicionales

Costos de deterioro (*CD*) de la carpeta para labores de mantenimiento = \$ 142, 350 (la última columna de la Tabla 2.8

**Solución:**

Se recurrirá a la Tabla L1 y a los planteamientos de la ingeniería económica, utilizando una tasa de interés de 10% anual y dos periodos de tiempo (cuatro de construcción y cinco de operación). Por lo tanto:

$57 \div 4 \text{ años} = 14.25 \text{ km. de construcción de la autopista por año.}$

Con el dato anterior se puede determinar la aportación por año:

$$\text{Aportación por año} = 14.75 * 55'000,000.00 = \$ 811'250, 000.00$$

Utilizando los factores discretos para una tasa del 10%, dado por el Apéndice H, se tiene:

$$n = 4, P / A = 3.7904.$$

Sustituyendo los datos para obtener los beneficios económicos resulta:

$$\sum_{j=1}^T B_j^o = (811'250, 000.00) * (3.7904) = \$ 3, 074, 962, 000.00$$

En el quinto año de operación se necesita aplicar el mantenimiento por desgaste de la carpeta. Considerando la misma tasa de 10% anual,  $n = 9$  y los costos de mantenimiento por deterioro = \$ 142, 350.00

Utilizando nuevamente el apéndice H y la notación estándar de factores:

$$P / F = 0.4241$$

Los costos de mantenimiento se determinan con:

$$\sum_{j=1}^T m_j(q_j, Q^o) = (142, 350) * (0.4241) = \$ 60, 370.64$$

Finalmente, sustituyendo toda la información en [2.1] y despejando ( $\tau$ ), se obtiene:

$$I(Q^0 + \sum_{j=1}^T m_j(q_j, Q^0) + \sum_{j=1}^T B_j^0 = \sum_{j=1}^T (\tau_j + \sigma)q_j$$

$$0 + 60, 370.64 + 3, 074, 962, 000.00 = \$ 3,075' 022, 371.00$$

$$\tau = \frac{\$3,075'022,471.00}{26,241 * 365} = \$321.05$$

Donde la cifra de 26, 241 es el Transito Diario Promedio Anual (*TDPA*) del año 2005.

El resultado de \$ 321.01 es la cuota para un automóvil por utilizar la autopista.

**Ejemplo cuatro.**

Considerando que la autopista es concesionada a una empresa por un monto igual a \$ 4056'682, 971.00 para ser explotada en los próximos 15 años, para ello se garantiza una media del (*TDPA*) de 20,771 automóviles. Los datos se proporcionan en la Tabla L3.

Año	Factor	Ingresos ( $I_{ng}$ )  (\$)	Cantidad presente de ingresos  (\$)	Costos de mantenimiento  (\$)	Cantidad presente de costos de mantenimiento (\$)
1991	0.9615	105'875, 915	101'799, 692	319, 496.14	307, 195
1992	0.9246	139'415, 400	128'903, 479	439, 158.51	406, 046
1993	0.8890	182'025, 500	161'820, 670	498, 021.77	442, 741
1994	0.8548	194'316, 875	166'102, 065	462, 740.35	395, 550
1995	0.8219	203'746, 650	167'459, 372	679, 155.50	558, 197
1996	0.7903	250'339, 630	197'843, 410	856, 425.05	676, 833
1997	0.7599	301'867, 410	229'389, 045	984, 350.25	748, 008
1998	0.7307	349'962, 000	255'717, 233	1'399, 848.00	876, 729
1999	0.7026	426'371, 100	299'568, 335	1'563, 336.07	1'098, 400
2000	0.6796	493'992, 460	335'717, 276	1'743, 350.28	1'184, 781
2001	0.6496	563'147, 550	365'820, 648	2'252, 590.20	1'463, 283
2002	0.6246	633'977, 625	395'982, 425	2'620, 440.85	1'636, 727
2003	0.6246	666'088, 500	400'052, 753	2'930, 789.40	1'760, 232
2004	0.5775	735'956, 800	425'015, 052	3'495,794.80	2'018, 822
2005	0.5553	766'237, 200	425'491, 517	3'735,406.35	2'074, 271
SUMA		6013'320, 615	4056'682, 971	23'780, 903.50	15'647, 816

Anexo L3. Datos para solución del ejemplo cuatro. Fuente: elaboración propia con información de CAPUFE y SCT.

**Solución:**

Si se invierten \$ 4,056'682, 971.00 a una tasa de 10% anual, producen \$ 12,888'893, 134.00 de interés.

Por tanto, se deben sustituir los datos en [2.1] se tiene:

$$I(Q^0 + \sum_{j=1}^T m_j(q_j, Q^0) + \sum_{j=1}^T B_j^0 = \sum_{j=1}^T (\tau_j + \sigma)q_j$$

$$4,056'682, 971 - 15'647, 816 + 12,888'893, 134 = \$ 16,829'928, 289.00$$

Además, utilizando la media del (*TDPA*), se tendrían 20, 771\*365\*15 = 113'372, 226 vehículos.

Finalmente el valor de la tarifa pedida es:

$$\tau = \frac{\$16,829,928,289.00}{113,372,226} = \$148.45$$

## Anexo M. Ejemplos de Aplicación del Modelo de Bonifaz J.

### Ejemplo uno.

Para la misma Autopista México - Cuernavaca, concesionada en 1989, se desea determinar el ajuste tarifario para 2006.

Datos adicionales:

*Tarifa* inicial = \$ 0.015 (Tarifa obtenida con el modelo de Vergara C.y que permite enfrentar los costos de mantenimiento por deterioro)

$INPC_1 = 117.50$  (2006)

$INPC_1 = 13.15$  (1989)

$IVA = 0.15$

Sustituyendo la información en [2.7] y efectuando operaciones se obtiene:

$$(PE) = \frac{0.015 * 117.50 * 1.15}{13.15} = \$0.154$$

El cobro de esta cuota actualizada es para cubrir los costos de deterioro.

### Ejemplo dos.

Si se utiliza una *Tarifa* inicial de US\$ 1.2 (empleado en Perú) y efectuando la conversión a moneda mexicana se tiene un valor de \$ 13.80

Utilizando nuevamente [2.7], sustituyendo datos y operando, se tendría:

$$PE = \$141.80$$

Por realizar un viaje de México a Cuernavaca se debe pagar la cantidad anterior.

## Anexo N. Ejemplos de aplicación del Modelo de Hun H.

### Información disponible:

Longitud de 57 Km.

Costo de construcción de \$ 55'000, 000 / km

Periodo de construcción de 4 años a partir de 1996.

En el año 2000 se iniciará la operación del servicio.

Tiempo de deterioro de la carpeta = cinco años después del inicio de operación del proyecto.

### Datos adicionales:

$57 \div 4$  años = 14.25 Km. de construcción de la autopista por año

Aportación por año =  $14.25 * 55'000.00 = \$ 783'750, 000$

(TDPA) de la categoría A = 26, 241

Para una tasa del 10% y la utilización del Apéndice H, 6ª columna e ingresando a la tabla con:  $n = 4$  se obtiene:

$$P / F = 3.7904$$

Por lo tanto, la aportación por año corresponde a:

$$\$ 787'750, 000.00 * 3.7904 = \$ 2, 970'726, 000.00$$

### Ejemplo uno

#### Empleo de [2.12]

Datos:

Aportación por año para construcción de la autopista ( $K_1$ ) = \$2, 970'726, 000.00

(TDPA) de la categoría A ( $X_1$ ) = 26, 241

$$Y_1 = \frac{K_1}{X_1}$$

$$Tarifa = \frac{\$2,970'726,000.00}{26,241 * 365 * 4} = \$77.54$$

Este dato, sería el costo de la *Tarifa Base* para recuperar la inversión.

### Ejemplo dos.

#### Aplicación de [2.13]

Utilizando información de datos de la autopista México – Cuernavaca:

Longitud de 57 Km.

Costos promedios de mantenimiento por deterioro de \$ 166, 910/año

(TDPA) de 26, 241 unidades vehiculares

### Solución:

Utilizando [2.13] y sustituyendo datos, se obtiene:

$$Y_2 = \frac{K_2}{X_2}$$

$$Tarifa = \frac{\$166,910}{26,241 * 365 * 57} = \frac{\$0.000305}{Km - Auto}$$

$$Tarifa = \$0.000305 * 57 = \frac{\$0.0017}{Auto}$$

El valor anterior representa el pago por un viaje de México a Cuernavaca. Esta *Tarifa Variable* permitiría enfrentar los costos por deterioro.

## Anexo P. Ejemplos de aplicación del modelo de Rico A.

Obtención de la ( $TC$ ) en el corredor (México – Cuernavaca), que se encuentra en operación y por tanto se conoce la real distribución del tránsito de los diferentes tipos de vehículos.

Información disponible.

Longitudes.

Tramo de cuota: 57 km.

Tramo libre: 52.50 km a partir del km 18.70 (cruce con calzada de Tlalpan) al Km. 71.20 (Glorieta de Zapata en Cuernavaca). En las tablas siguientes se proporcionan y se obtienen otros datos:

a) Peajes y aforos.

En la Tabla P1, se muestran los aforos de la autopista México – Cuernavaca para los vehículos que circularon en el año 2005. Se observa que las cifras vehiculares son ligeramente iguales excepto para los camiones T3S2 (camión de cinco ejes), T3S3 (camión de seis ejes) y T3S2R4 (camión de nueve ejes) que decidieron utilizar la carretera alterna en mayor porcentaje.

Tipo de vehículo	Aforo en autopista	Aforo en carretera alterna	Aforo Total
A	26, 241	26, 499	39, 894
B2	1, 414	1, 284	2, 056
B3	921	964	1, 403
C2	592	840	1, 012
C3	366	770	751
T3S2	504	642	825
T3S3	164	514	421
T3S2R4	12	340	182

Anexo P1. Aforos de Autopista y Alterna. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por CAPUFE.

b) costos de operación vehicular ( $COV_s$ ). En la Tabla P2, se tienen estos datos de acuerdo con el tipo de vehículo.

Vehículo	( $COV_s$ ) En la autopista de cuota	( $COV_s$ ) En la libre	Autopista de cuota ( $COV_s$ )*L	Carretera libre ( $COV_s$ )*L
A	3.22	3.36	215.00	178.08
B2	11.77	12.34	788.59	654.02
B3	13.77	14.32	922.59	758.96
C2	6.87	7.65	460.29	405.45
C3	10.59	11.42	709.50	605.26
T3S2	14.26	15.36	955.42	813.08
T3S3	16.74	17.90	1, 121.58	948.70
T3S2R4	28.54	28.76	1, 912.18	1, 524.28

Anexo P2. Costos de operación vehicular. Elaboración propia con información de Arroyo J.A., (2002), Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras, Publicación Técnica 202.

c) Cálculo del costo de operación vehicular ponderado.

Los costos de operación vehicular de la carretera libre y de la autopista de cuota se han determinado y se proporcionan en la Tabla P3.

Tipo de vehículo	( <i>TDPA</i> ) Cuota	( <i>COVs</i> ) Cuota	( <i>TDPA</i> ) Cuota (%)	( <i>COVs</i> ) Ponderado Cuota	( <i>TDPA</i> ) Libre	( <i>COVs</i> ) Libre	( <i>TDPA</i> ) Libre (%)	( <i>COVs</i> ) Ponderado (%)
A	26, 241	3.22	0.8685	2.7966	26, 499	3.36	0.8319	2.7413
B2	1, 414	11.77	0.0468	0.5508	1, 284	12.34	0.0403	0.4973
B3	921	13.77	0.0305	0.4199	964	14.32	0.0302	0.4325
C2	592	6.87	0.0193	0.1326	840	7.65	0.0264	0.2020
C3	366	10.59	0.0121	0.1281	770	11.42	0.0243	0.2775
C5	504	14.26	0.0167	0.2381	642	15.36	0.0202	0.3103
C6	164	16.74	0.0054	0.0903	514	17.90	0.0161	0.2882
C9	12	28.54	0.0004	0.0114	340	28.76	0.0107	0.3077
SUMA	30, 214			4.3678	31, 853			5.0568

Anexo P3. Costos de operación vehicular ponderados. Fuente: elaboración propia con información de Rico A. (1995), Criterios para establecer la cuota óptima en una autopista de cuota, Publicación No. 60.

Información que contienen la Tabla P3:

- La 1ª columna registra el tipo de vehículo.
- La 2ª columna contiene el (*TDPA*) de cada categoría vehicular.
- La 3ª columna indica los (*COVs*) de los vehículos.
- La 4ª columna se tiene el porcentaje de cada categoría y resulta de dividir el (*TDPA*) entre la suma de los (*TDPA*) de todos los vehículos.
- La 5ª columna se registran los (*COVs*) ponderados de cada vehículo. Se determinan multiplicando la 3ª columna por la 4ª columna.
- Los datos de 6ª, 7ª, 8ª y 9ª columnas contienen los datos referidos en las 2ª, 3ª, 4ª y 5ª columnas pero para la carretera alterna.

Finalmente los costos de operación totales de la carretera alterna y la autopista de cuota son:

$$COV_s \text{ Ponderados de autopista de cuota} = 4.3678 * 57 = \$ 248.96$$

$$COV_s \text{ Ponderados de la carretera libre} = 5.0568 * 52.50 = \$ 265.48$$

d) Vehículos equivalentes para terreno montañoso. Esta información se encuentra en la Tabla P4, Por ejemplo, en la columna uno, se tiene el tipo de vehículo, en la columna dos aparece el (*TDPA*) por unidad, en la columna tres se indica el factor de equivalencia (*FE*) por cada vehículo, en la columna cuatro se tiene el porcentaje vehicular que resulta de dividir el (*TDPA*) entre la suma de los (*TDPA*) y finalmente en la última columna se tiene la ponderación del (*FE*) que resulta de operar la columna tres por la columna cuatro.

Tipo de vehículo	(TDPA) Autopista de cuota	(FE)	(TDPA) (%)	(FE) Ponderado
A	26, 241	2.7	0.868505	2.344963
B2	1, 414	5.0	0.046799	0.233997
B3	921	5.0	0.030483	0.152413
C2	592	8.0	0.019594	0.156749
C3	366	8.0	0.012114	0.096909
C5	504	12.0	0.016681	0.200172
C6	164	12.0	0.005428	0.065135
C9	12	17.6	0.000397	0.00699
SUMA	30, 214			3.257328

Anexo P4. Factor de Equivalencia Ponderado. Fuente: elaboración propia con información de “Manual de Capacidad Vial”.

e) Costo del deterioro ( $CD$ ). Para cada vehículo se determina esta variable y se determina utilizando [2.21], sin embargo, para el caso de este problema se requiere determinar el costo de deterioro ponderado. Por lo tanto:

$$DET_i = 0.1L_iNEE_k$$

Sustituyendo datos y efectuando operaciones:

$$DET_i = 0.1 * 57 * 3.257328 = 18.57$$

El valor de \$18.57, representa el costo de deterioro ponderado para la autopista de cuota

Aplicando [2.22], sustituyendo y realizando operaciones de tiene:

$$[0.03(T_i - DET_i) - 1]e^{[1.2+0.03(C_i+T_i-C_j)]} = 1$$

$$1 = 0.03[0.03(T_i - 18.57) - 1]e^{[1.2+0.03(248.96+T_i-265.48)]}$$

$$Ln(1) = 0.000027T_i^2 - 0.0007677T_i - 0.32883$$

Resolviendo en función de  $T_i$ , resulta:

$$T_i = \$51.90$$

Se podrá combinar [2.23] con la Tabla P5 de tarifas relativas dada a continuación, para obtener el valor de la ( $TC$ ) para un Camión de dos ejes (C2).

Tarifa relativa	1	1	1	1	1.3	1.7	2	3
Tipo de vehículo	A	B2	B3	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4

Anexo P5. Tarifas relativas por vehículo. Fuente: Rico A., et al., (1995). Criterios para establecer la cuota óptima en una autopista de cuota, Publicación No. 90

Para el cálculo de la tarifa relativa ponderada, se utiliza la Tabla P6, dichos valores se dan en la 5ª y resulta de operar las 3ª y 4ª columnas.

Vehículo	(TDPA)	Tarifa relativa	(TDPA) (%)	Tarifa relativa Ponderada (%)
A	26, 241	1.0	0.868505	0.868505
B2	1, 414	1.0	0.046799	0.046799
B3	921	1.0	0.030483	0.030483
C2	592	1.0	0.019594	0.019594
C3	366	1.3	0.012114	0.0157482
T3S2	504	1.7	0.016681	0.0283577
T3S3	164	2.0	0.005428	0.0108560
T3S3R4	12	3.0	0.000397	0.0011910
Suma	30, 214			1.019399

Anexo P6. Tarifa relativa ponderada. Fuente: elaboración propia con información de Rico A. (1995), Criterios para establecer la cuota óptima en una autopista de cuota Publicación N0. 60, IMT.

Cálculo de la (TC) óptima de Rico A.

Finalmente se podrá determinar la (TC) óptima mediante:

$$TC = 1.010399 * 51.90 = \$52.44$$

El valor de \$ 56.32 es el importe por transitar de México a Cuernavaca

## Anexo Q. Aplicación del modelo empleado en México

Se trata de determinar la ( $TC$ ) para el año 2005 para un vehículo clase A con los datos siguientes:

$Tarifa$  , cobrada a los automóviles en el año 2004 = \$ 80.00.

$INPC$  2004 = 1.0969 (Tabla 2.12 de este documento).

Solución

$$TC_{2005} = (Tarifa_{2004}) * INPC_{2004}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$TC_{2005} = 80 * 1.0960 = \$87.75$$

El valor \$ 87.75 se turna de los operadores de la autopista a la administración (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) para su aprobación. Sin embargo por la aplicación de \$ 80.00 para el año 2005, se observa que no fue aprobada la ( $TC$ ) de \$ 87.75

## **Anexo R. Evaluación económica de la autopista México - Cuernavaca**

Datos para la evaluación:

$I_o = 2.5$  millones de dólares/km. La administración, utiliza este índice es utilizado para autopistas que no disponen de obras estructurales como puentes o túneles y /o cuando el proyecto dispone de dos a tres carriles por sentido. Este es el caso de la autopista México – Cuernavaca.

Longitud del proyecto = 57 km.

$r = 10 \%$ . Dato propuesto por el Banco de México. Institución que califica las tasas de actualización para proyectos de inversión. (Coss R., 1996) Análisis y evaluación de proyectos de Inversión, Limusa, México.

$i = 15$  años.

$C_i = 24.90 \%$  de los ingresos. (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, 2001)

$VR = 0$  (no está en venta el servicio).

Fechas: de 1991 hasta 2005.

### **Solución:**

Se utilizó el formato de la Tabla 4.3 donde se indican los rubros en cada columna. Para determinar los ingresos netos  $(I_i - C_i)$ , se procedió a descontar del monto de los ingresos totales, los costos operativos y de mantenimiento. Este resultado se encuentra en la 5ª columna.

Año	Ingresos totales de las categorías vehiculares A, B2, B3, B4, C2, C3, C4, C5, C6, C6, C7, C8, C9 (\$)	Costos operativos (\$)	Costos de mantenimiento (\$)	Ingresos netos (\$)	Factor de interés (10%)	Flujos descontados (\$)
1991	117'845,885	29'343,625.4	17'249,280	71'252,979.6	0.9091	64'776,083.79
1992	180'988,504	45'066,137.5	17'968,950	117'953,417	0.8264	97'476,703.40
1993	230'744,934	57'455,488.6	28'911,110	144'378,335	0.7513	108'471,443.40
1994	257'087,938	64'014,896.6	28'786,420	164'286,621	0.6830	112'207,762.40
1995	279'928,701	69'702,246.5	35'883,860	174'342,594	0.6209	108'249,316.90
1996	336'212,523	83'716,918.2	7'985,290	244'510,315	0.5645	138'026,072.70
1997	417'935,823	104'066,020	51'449,140	262'420,663	0.5132	134'674,284.30
1998	497'190,032	123'800,318	50'429,500	322'960,214	0.4665	150'660,939.80
1999	588'704,866	146'587,512	56'784,080	385'333,274	0.4241	163'419,841.70
2000	705'812,930	175'747,420	96'658,050	433'407,460	0.3855	167'078,576.00
2001	779'120,040	194'000,890	98'850,940	486'268,210	0.3505	170'437,007.60
2002	854'336,650	212'729,826	110'594,300	531'012,524	0.3186	169'180,590.20
2003	874'529,385	217'757,817	127'258,960	529'512,608	0.2897	153'399,802.60
2004	974'056,882	242'540,164	8'011,690	723'505,028	0.2633	190'498,874.00
2005	1023'329,687	254'809,092	29'818,470	738'702,125	0.2394	176'845,288.70
Suma						2105'402,587.00

Tabla 4.3. Ingresos totales, costos e ingresos netos del proyecto. Fuente: Elaboración propia con datos de CAPUFE y SCT.

Información que contiene la Tabla 4.3

En la 1ª columna se tiene el año de estudio.

En la 2ª columna se encuentra los ingresos por tránsito vehicular.

En la 3ª columna se ubican los costos operativos por la explotación de la autopista.

En la 4ª columna se tienen los costos de reparaciones periódicas de la autopista.

En la 5ª columna registra el resultado de restar de los ingresos totales los costos de operación y de mantenimiento.

En la 6ª columna se coloca el factor de interés al 10%, dato localizado en la 3ª columna del Apéndice G

En la 7ª columna se ubican los flujos descontados que resultan de multiplicar los valores de la 5ª y 6ª columna.

Sustituyendo en [3.1] los flujos descontados referidos en la Tabla 4.3, la utilización de factores discretos al 10% (Apéndice I de este documento) y realizando operaciones se obtuvo la solución siguiente:

$$VPN = -I_o + \sum_{n=1}^n \frac{(I_i - C_i)}{(1+r)^i} + \frac{VR}{(1+r)^i}$$

$$VPN_{2005} = -1,567'500,000.00 + 2,105'402,587.00 = \$537'902,587.00$$

## Apéndice A. Daño Unitario

Vehículo	Daño Unitario (DU)
A	0.0005
B2	1.67
B3	2.5
B4	3.75
C2	5.43
C3	2.90
C4	3.19
C5	4.78
C6	8.38
C7	6.69
C8	7.65
C9	3.92

Apéndice A1. Daño Unitario provocado por los vehículos en la carpeta de rodamiento. “Análisis Económico del Comportamiento de Secciones Estructurales de Carreteras en Diversas Circunstancias, IMT. 1995, página 15.

## Apéndice B. Vehículos Equivalentes

Vehículo	Símbolo	Plano	Lomerío	Montañoso
Auto	A	1.0	2.0	2.7
Camión	EC	1.7	4.0	8.0
Autobús	EB	1.5	3.0	5.0
Recreativo	ER	16	3.0	4.0

Apéndice B1. Vehículos equivalentes para análisis generalizado de segmentos de autopista, Manual de Capacidad Vial, Secretaria de Comunicaciones y Transportes. México.

Vehículo	Plano	Lomerío	Montañoso
B3	1.5	3.0	5.0
B4	1.5	3.0	5.0
C2	1.7	4.0	8.0
C3	1.7	4.9	8.0
C4	2.55	6.0	12.0
C5	2.55	6.0	12.0
C6	2.55	6.0	12.0
C7	3.74	8.8	17.6
C8	3.74	8.8	17.6
C9	3.74	8.8	17.6

Apéndice B2. Vehículos equivalentes no contemplados en Apéndice B1.

## Apéndice C. Tablas de HCM (2000)

Ancho de carril	Reducción de velocidad en flujo libre ( $f_{LW}$ )
3.6	0.00
3.5	1.0
3.4	2.1
3.3	3.1
3.2	5.6
3.1	8.1
3.0	10.6

Apéndice C1, Tabla 23.4. Ajuste por ancho de carril. HCM (2000)

Acotamiento lateral derecho (m)	Reducción de velocidad en flujo libre ( $f_{LC}$ )			
	2	3	4	>5
> = 1.8	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5	1.0	0.7	0.3	0.2
1.2	1.9	1.3	0.7	0.4
0.9	2.9	1.9	1.0	0.6
0.6	3.9	2.6	1.3	0.8
0.3	4.8	3.2	1.6	1.1
0.00	5.8	3.0	1.9	1.3

Apéndice C2, Tabla 23.5 Ajuste por acotamiento lateral derecho. HCM (2000)

Número de carriles (en una dirección)	Reducción de velocidad a flujo libre ( $f_N$ )
> = 5	0.0
4	2.4
3	4.8
2	7.3

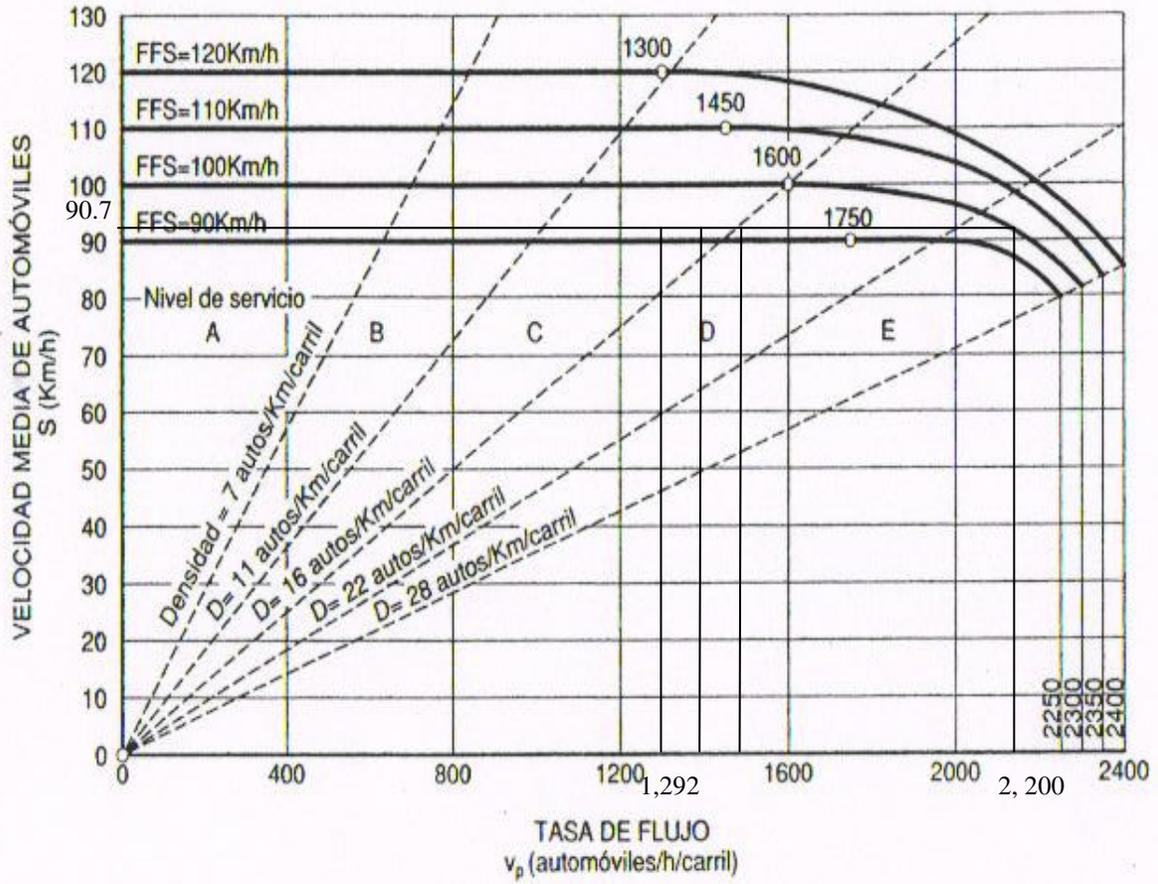
Apéndice C3, Tabla 23.6. Ajuste por número de carriles. HCM (2000)

Intercambiadores	Reducción de velocidad a flujo libre ( $f_{ID}$ )
< = 0.3	0.0
0.4	1.1
0.5	2.1
0.6	3.9
0.7	5.0
0.8	6.0
0.9	8.1
1.0	9.2
1.1	10.2
1.2	12.1

Apéndice C4, Tabla 23.7. Ajuste por número de intercambiadores. HCM (2000)

Factor	Plano	Lomerío	Montañoso
ET (camiones y autobuses)	1.5	2.5	4.5
ER (RVs)	1.2	2.0	4.0

Apéndice C5, Tabla 23.8, Pasajeros equivalentes en segmentos de autopista ampliada. HCM (2000)



Apéndice C6. Gráfica de Curvas Estándares Velocidad - Flujo. HCM (2000)

Criterio	Nivel de Servicio				
	A	B	C	D	E
Velocidad a flujo libre = 120 km/h					
Densidad máxima (veh/km/carril)	7	11	16	22	28
Mínima velocidad (km/h)	120	120	114.6	96.0	85.7
Máxima relación volumen / capacidad Veh/h/carril	0.35	0.55	0.77	0.92	1.00
Máxima Tasa de flujo (veh/h/carril)	840	1320	1840	2200	2400
Velocidad a flujo libre = 110 km/h					
Densidad máxima (veh/km/carril)	7	11	16	22	28
Mínima velocidad (km/h)	110	110	108.5	97.2	83.9
Máxima relación: volumen / capacidad Veh/h/carril	0.33	0.51	0.74	0.91	1.00
Máxima Tasa de flujo (veh/h/carril)	770	1210	1740	2135	2350
Velocidad a flujo libre = 100 km/h					
Densidad máxima (veh/km/carril)	7	11	16	22	28
Mínima velocidad (km/h)	100	100	100	93.8	82.1
Máxima relación: volumen / capacidad Veh/h/carril	0.30	0.48	0.70	0.90	1.00
Máxima Tasa de flujo (veh/h/carril)	700	1100	1600	2065	2300
Velocidad a flujo libre = 90 km/h					
Densidad máxima (veh/km/carril)	7	11	16	22	28
Mínima velocidad (km/h)	90	90	90	89.1	80.4
Máxima relación volumen / capacidad Veh/h/carril	0.28	0.44	0.64	0.87	1.00
Máxima Tasa de flujo (veh/h/carril)	630	990	1440	1955	2250

Apéndice C7. Criterios para la determinación del Nivel de Servicio en segmentos básicos de autopistas. Fuente: Manual de Capacidad en Carreteras (2000)

## Apéndice D. Costos de mantenimiento

No.	Concepto	Monto asignado
1	Riego de sello 3-e premezclado con emulsión rm-2k diluida, con riego de liga a base de emulsión modificada con polímetro tipo rr-2k, de alta viscosidad, cuerpo "a" del Km. 39+000 al km. 80+000; cuerpo "b" del Km. 18+960 al Km. 25+000 y del Km. 32+000 al Km. 47+900.	15,896,924.83
2	Construcción de micro carpeta a base de emulsión con asfalto modificado con polímetro tipo qs (quick setting) de graduación tipo iii y aplicación de mortero asfáltico de color rojo en acotamientos con tezontle y emulsión pigmento rojo; micro carpeta del Km. 18+960 al Km. 25+000 y del Km. 28+000 al Km. 39+000 cuerpo "a", mortero asfáltico de color rojo en acotamientos del Km. 18+960 al Km. 80+000 cuerpo "a" y del Km. 18+960 al Km. 52+900 cuerpo "b".	13,737,312.61
3	Convenio de reducción al contrato 060-158/02mf231-6108	-6,336,598.97
4	Colocación y alineamiento de bordillo Km. 18+940 al Km. 48+000	254,380.05
5	Colocación y alineamiento de bordillo Km. 48+800 al a.m. 80+500	215,387.79
6	Proyecto de ubicación del andador en los costados de la autopista México - Cuernavaca, del Km. 18+620 al Km. 22+740 ambos cuerpos, del Km. 23+380 al Km. 24+280 cuerpo "a", del Km. 29+800 al Km. 30+500 cuerpo "a" del Km. 31+100 al Km. 31+500 cuerpo "a" y del Km. 77+800 al Km. 79+000 cuerpo "a".	119,760.00
7	Reparación de recubrimiento de la estructura del p.i.g. del Km. 48+000 (monumento a Morelos)	236,591.58
8	Suministro y colocación de señalamiento horizontal en la curva peligrosa denominada "la pera" del Km. 66+010 al Km. 67+300 (incluye fuente de energía, ductos, cableado, módulos con cuerpos color blanco y una cara color rojo y ménsulas flexibles con un reflejante de vidrio cristal).	318,047.50
9	Rehabilitación del pavimento mediante fresado, reforzamiento del pavimento con base asfáltica, carpeta asfáltica y colocación de carpeta drenante (open graded), con cemento ac-20 modificado, del Km. 39+000 al Km. 80+500 cuerpo "a" y riego de sello rojo en acotamiento del Km. 39+000 al Km. 80+500 cuerpo "a" y del Km. 47+000 al 80+500 cuerpo "b"	73,474,767.70
10	Convenio modificadorio en tiempo y monto	4,012,907.75
11	Estudio y proyecto ejecutivo para la modernización del distribuidor vial Cuautla, ubicado en el Km. 70+500	674,066.11
12	Estudio y proyecto ejecutivo para la construcción de dos retornos, ubicados en el Km. 42+100 y 58+900	784,277.67
13	Estudio y proyecto topográfico de los niveles para mejorar la pendiente transversal de la autopista México - Cuernavaca, del Km. 39+000 al Km. 80+500 cuerpo "a"; del Km. 18+960 al Km. 25+000 y del Km. 32+000 al Km. 48+000 cuerpo "b"	597,507.24
14	Estudios y proyectos para revalidar el espacio actualmente ocupado en el mirador del Km. 67+000 cuerpo "b"	69,597.47
15	Retiro, suministro y colocación de vialetas, ménsulas reflejantes e	866,131.23

	indicadores de alineamiento	
16	Mantenimiento menor de la autopista México - Cuernavaca	2,493,889.97
17	Construcción de carpeta asfáltica superficial altamente adherida elaborada en planta con cemento asfáltico ac-20 modificado con polímetro tipo i del km. 18+960 al km. 23+300 cuerpos "a" y "b"	3,019,351.20
18	Actualización del proyecto de rehabilitación del pavimento mediante fresado, estabilización del pavimento mediante renivelación y colocación de carpeta drenante (open graded) del Km. 18+960 al Km. 80+500 cuerpo "a" y "b", así como los estudios de los paraderos existentes en ambos cuerpos, área de sanitarios cuerpo "b" y el área de los carriles auxiliares de la plaza de cobro 1 Tlalpan	160,000.00
	<b>TOTAL DE LA RED FARAC, DELEGACION IV, MANTENIMIENTO MAYOR Y MENOR</b>	<b>\$110,594,301.73</b>

Apéndice D1. Costos de mantenimiento de la autopista México - Cuernavaca

## Apéndice E. Índices de precios al consumidor e Inflación

Año	INPC	Índice Inflación
1980	0.1227	
1981	0.1579	28.6878
1982	0.3139	98.8474
1983	0.5676	80.7758
1984	0.9033	59.7758
1985	1.4792	63.7491
1986	3.0435	105.7495
1987	7.8879	159.1676
1988	11.9626	51.6574
1989	14.3190	19.6974
1990	18.6046	29.9296
1991	22.1012	18.7945
1992	24.7397	11.9381
1993	26.7212	8.0091
1994	28.6054	7.0515
1995	43.4706	51.966
1996	55.5140	27.7048
1997	64.2400	15.7185
1998	76.1945	18.6091
1999	85.5872	12.3271
2000	93.2481	8.9510
2001	97.3548	4.4040
2002	102.9040	5.6999
2003	106.9960	3.9765
2004	112.5500	5.1908
2005	116.3010	3.3327
2006	121.0150	4.0532
2007	125.5640	3.7590
2008	133.7610	6.5281
2009		3.5700

Apéndice E1. Índices de precios al consumidor en México

## Apéndice F. Tasa de Actualización

Periodo	Tasa de Actualización (%)
1960 – 1976	3 – 4
1977 – 1982	8 – 10
1983 – 1988	10 – 12
1989 - 1993	8 – 10
1993 – 1994	8 – 10
1995 – 2000	7 – 10
2001 – 2006	5 – 6

Apéndice F1. Tasa de eualización utilizada en México

## Apéndice G. Factores

n	(F/P, i, n)	(P/F, i, n)	(F/A, i, n)	(A/F, i, n)	(P/A, i, n)	(A/P, i, n)
1	1.1000	0.9091	1.0000	1.0000	0.9091	1.1000
2	1.2100	0.8264	2.1000	0.4762	1.7355	0.5762
3	1.3331	0.7513	3.3100	0.3021	2.4869	0.4021
4	1.4641	0.6830	4.6410	0.2155	3.1699	0.3155
5	1.6105	0.6209	6.1051	0.1638	3.7908	0.2638
6	1.7761	0.5645	7.7156	0.1286	4.3553	0.2296
7	1.9487	0.5132	9.4872	0.1054	4.8684	0.2054
8	2.1436	0.4665	11.4359	0.0874	5.3349	0.1874
9	2.3579	0.4141	13.5795	0.0736	5.7590	0.1736
10	2.5937	0.3855	15.9374	0.0627	6.1446	0.1627
11	2.8531	0.3505	18.531	0.0540	6.4951	0.1540
12	3.1384	0.3186	21.384	0.0468	6.8137	0.1468
13	3.4523	0.2897	24.523	0.0408	7.1034	0.1408
14	3.7975	0.2633	27.975	0.0357	7.3667	0.1357
15	4.1772	0.2394	31.772	0.0315	7.6061	0.1315
16	4.5950	0.2176	35.950	0.0278	7.8237	0.1278
17	5.0545	0.1978	40.545	0.0247	8.0216	0.1247
18	5.5599	0.1799	45.599	0.0219	8.2014	0.1219
19	6.1159	0.1635	51.159	0.0195	8.3649	0.1195
20	6.7275	0.1486	57.275	0.0175	8.5136	0.1175
21	7.4002	0.1351	64.0025	0.0156	8.6487	0.1156
22	8.1403	0.1228	71.403	0.0140	8.7715	0.1140
23	8.9543	0.1117	79.543	0.0126	8.8832	0.1126
24	9.8497	0.1015	88.497	0.0113	8.9847	0.1113
25	10.8347	0.0923	98.347	0.0102	9.0770	0.1102
26	11.9182	0.0839	100.183	0.0092	9.1609	0.1092
27	13.1100	0.0736	121.0999	0.0083	9.2372	0.1083
28	14.4210	0.0693	134.2100	0.0075	9.3066	0.1075
29	15.8631	0.0630	148.6309	0.0067	9.3696	0.1067
30	17.4494	0.0571	164.4980	0.0061	9.4269	0.1061

Apéndice G1. Factores discretos al 10%. Fuente: Baca, G., (1994). Fundamentos de Ingeniería Económica, Mc Graw Hill.

$F = (F/P, i, n)$  significa factor de un futuro dado un presente a determinada tasa de interés ( $i$ ) y número de años ( $n$ ). Esta notación se utiliza en vez de la relación básica siguiente:

$$F = P(1+i)^n$$

$P = (P/F, i, n)$ , significa factor de un presente dado un futuro, a determinada tasa de interés ( $i$ ) y número de años ( $n$ ). Esta notación se emplea en vez de:

$$P = \frac{F}{(1+i)^n}$$

$F = A (F/A, i, n)$ , significa factor de un futuro dado un pago uniforme a determinada tasa de interés ( $i$ ) y un número de años( $n$ ). Esta notación se usa en vez de:

$$F = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$$

$A = F (A/F, i, n)$ , significa factor de un pago uniforme dado un futuro a determinada tasa de interés ( $i$ ) y un número de años. Se emplea en vez de:

$$A = F \left[ \frac{1}{(1+i)^n - 1} \right]$$

## Apéndice H. Volúmenes de Tránsito, Autopista México – Cuernavaca.

Mes-año	Tránsito	Mes-año	Tránsito	Mes-año	Tránsito	Mes-año	Tránsito
Ene-94	628,883	Ene-98	568,667	Ene-02	669,372	Ene-06	824,738
Feb	590,435	Feb	527,560	Feb	634,740	Feb	755,903
Mar	740,640	Mar	587,379	Mar	907,981	Mar	862,979
Abr	679,045	Abr	725,696	Abr	682,521	Abr	996,766
May	628,713	May	633,294	May	680,081	May	787,918
Jun	549,921	Jun	528,900	Jun	640,424	Jun	699,243
Jul	703,539	Jul	600,015	Jul	745,346	Jul	892,496
Ago	682,204	Ago	643,836	Ago	753,814	Ago	793,548
Sep	603,986	Sep	455,070	Sep	657,835	Sep	758,210
Oct	635,293	Oct	502,927	Oct	622,349	Oct	771,660
Nov	606,718	Nov	597,855	Nov	648,223	Nov	816,836
Dic	723,480	Dic	624,454	Dic	802,007	Dic	947,143
Ene-95	597,445	Ene-99	544,537	Ene-03	683,310	Ene-07	829,931
Feb	558,547	Feb	555,303	Feb	649,748	Feb	784,305
Mar	602,764	Mar	627,478	Mar	815,677	Mar	903,477
Abr	725,056	Abr	704,520	Abr	851,703	Abr	984,151
May	548,844	May	620,589	May	753,369	May	789,070
Jun	476,644	Jun	538,165	Jun	645,240	Jun	790,475
Jul	560,097	Jul	622,349	Jul	770,432	Jul	924,461
Ago	571,359	Ago	648,958	Ago	786,204	Ago	854,544
Sep	486,811	Sep	500,183	Sep	667,316	Sep	762,509
Oct	496,350	Oct	495,407	Oct	650,221	Oct	780,067
Nov	533,993	Nov	475,041	Nov	737,882	Nov	866,750
Dic	631,441	Dic	610,291	Dic	822,828	Dic	963,032
Ene-96	518,767	Ene-00	580,565	Ene-04	728,457	Ene-08	847,952
Feb	538,960	Feb	522,753	Feb	735,131	Feb	808,550
Mar	606,499	Mar	625,887	Mar	748,832	Mar	1,081,340
Abr	647,102	Abr	757,061	Abr	837,993	Abr	796,039
May	516,992	May	573,365	May	764,336	May	892,370
Jun	503,621	Jun	486,616	Jun	655,181	Jun	796,341
Jul	557,095	Jul	674,769	Jul	877,029	Jul	914,191
Ago	586,441	Ago	630,023	Ago	799,799	Ago	904,554
Sep	503,906	Sep	560,767	Sep	697,287	Sep	761,836
Oct	466,983	Oct	543,789	Oct	732,498	Oct	758,157
Nov	521,177	Nov	637,694	Nov	719,217	Nov	852,229
Dic	619,997	Dic	671,110	Dic	890,849	Dic	986,118
Ene-97	522,270	Ene-01	577,011	Ene-05	775,922		
Feb	469,266	Feb	555,922	Feb	703,924		
Mar	707,988	Mar	660,528	Mar	979,810		
Abr	511,702	Abr	842,532	Abr	753,930		
May	560,091	May	629,314	May	797,127		
Jun	494,658	Jun	610,753	Jun	734,595		
Jul	560,648	Jul	738,623	Jul	900,216		
Ago	616,337	Ago	718,175	Ago	782,243		
Sep	493,420	Sep	607,709	Sep	727,385		
Oct	447,840	Oct	613,199	Oct	763,670		
Nov	542,756	Nov	701,302	Nov	723,606		
Dic	634,785	Dic	784,893	Dic	921,240		

Apéndice H1. Tránsito vehicular. Autopista México – Cuernavaca. 1994-2008

## Apéndice I. Porcentajes de categorías vehiculares

Porcentajes de categorías vehiculares								
Año	A	B	C2	C3	C4	C5	C6	Otros
1991	83.65	4.84	4.03	2.04	1.98	1.27	0.36	1.76
1992	82.2	7.70	5.30	0.10	0.30	0.10	0.10	0.20
1993	83.65	4.84	4.03	2.04	1.98	1.27	0.36	1.76
1994	84.00	6.30	4.50	1.40	1.10	0.60	0.30	1.80
1995	83.90	3.50	5.50	0.90	1.40	1.00	0.70	3.10
1996	82.20	4.60	5.90	2.30	1.40	1.20	0.40	2.00
1997	79.50	4.30	7.10	2.60	2.80	2.50	0.10	2.90
1998	81.60	2.70	4.50	3.30	3.20	2.00	0.80	1.90
1999	81.10	3.90	4.80	3.70	1.80	1.40	0.10	3.20
2000	85.4	3.50	3.70	2.90	1.70	1.00	0.40	1.40
2001	83.90	3.40	3.30	2.90	2.90	2.00	0.10	2.50
2002	83.90	3.10	4.20	2.00	2.70	1.80	0.10	2.20
2003	81.90	4.20	4.40	2.70	2.20	2.00	0.00	2.60
2004	85.10	3.50	3.90	2.00	2.70	1.40	0.10	1.30
2005	84.80	7.60	2.10	1.30	1.90	0.60	0.70	1.00
2006	84.40	4.70	2.70	2.20	2.00	1.50	0.20	2.30
2007	85.60	5.00	3.10	2.30	1.80	1.30	0.30	0.60
2008	85.40	7.50	1.80	1.10	1.90	0.60	0.90	0.80
2009	87.20	6.70	1.70	1.00	1.80	0.60	0.90	0.10

Apéndice I1. Porcentajes de categorías vehiculares que circulan en la Autopista México - Cuernavaca