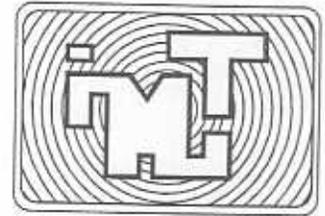
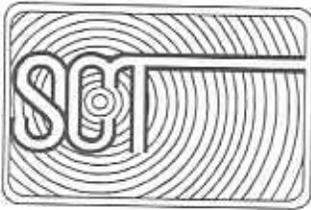


ISSN 0188-7297



---

---

# **EVALUACION ECONOMICA DE LA PENDIENTE GOBERNADORA EN CARRETERAS**

**Instituto Mexicano del Transporte**  
**Secretaría de Comunicaciones y Transportes**

**Publicación Técnica No. 54**  
**Segunda Edición**  
**Querétaro, Qro. 1995**

---

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

**Evaluación Económica  
de la Pendiente Gobernadora  
en Carreteras**

**Publicación Técnica No.54  
Segunda Edición  
Querétaro, Qro. 1995**

---

**CIUDAD DE MEXICO**

Av. Popocatépetl 506 B  
Col. Xoco  
03330 México, D.F.  
Tels. 688 76 29  
688 76 03  
Fax 688 76 08

**SANFANDILA**

Km 4+000, Carretera  
Los Cues-Galindo  
76700 Sanfandila, Qro.  
Tels. (42) 16 97 77  
16 96 46  
16 95 97  
Fax (42) 16 96 71

---

Este trabajo fue elaborado en el Instituto Mexicano del Transporte por Gandhi Durán Hernández, bajo la dirección de Roberto Aguerrebere Salido, Coordinador de Transporte Integrado. Se reconoce la participación de Alfonso Rico Rodríguez y de Alberto Mendoza por sus valiosos comentarios y sugerencias en torno a la presentación final.

---

# Contenido

---

Indice de Figuras y Cuadros	I
Resumen	VII
1. Introducción	1
2. Condiciones actuales de las Normas de Proyecto Geométrico de Carreteras	3
2.1 Clasificación de las carreteras	3
2.2 Tipos de terreno	3
2.3 Pendiente gobernadora	4
3. Modelo de costos de construcción y costos de operación de vehículos	7
3.1 Modelo de costos de construcción	7
3.1.1 Principales conceptos de obra	8
3.2 Modelo de costos de operación de vehículos	16
3.2.1 Características geométricas que influyen en los costos de operación de vehículos	17
4. Definición de alternativas y cálculo del costo total	21
4.1 Alternativas de construcción	21
4.1.1 Características del terreno	21
4.1.2 Pendiente media del camino y curvatura horizontal promedio	22
4.1.3 Ancho de corona	22
4.1.4 Precios unitarios	22
4.2 Cálculo de costos de construcción	23
4.3 Alternativas de tránsito inicial	25
4.3.1 Porcentaje de vehículos pesados	25
4.3.2 Tipos de vehículos	28
4.3.3 Tasa de crecimiento media anual del tránsito	28
4.4 Cálculo de costos de operación de vehículos	29

5. Evaluación económica	33
5.1 Criterio de costo total mínimo	33
5.2 Análisis de la pendiente de referencia del camino de costo total mínimo	35
5.2.1 Análisis del tránsito	35
5.2.2 Análisis del porcentaje de vehículos pesados	37
5.2.3 Análisis de la tasa de crecimiento media anual del tránsito y de la tasa de actualización	37
6. Presentación de resultados	41
7. Conclusiones y recomendaciones	57
Referencias	65
Anexo A. Pendiente de referencia de costo total mínimo para los casos revisados.	67
Anexo B. Programa de cómputo para calcular el costo total.	91

## Indice de Figuras y Cuadros.

Figura	Pág.
3.1 Principales conceptos de los costos de construcción en una carretera.	9
3.2 Pendiente media del terreno natural (PMTN).	10
3.3.A Estimación del volumen de movimiento de tierras: respecto al ancho del camino.	11
3.3.B Estimación del volumen de movimiento de tierras: respecto a la pendiente media del camino.	11
3.4 Pendiente media del camino (PMC).	12
3.5 Secciones típicas del terraplén y sus trapezoides equivalentes.	13
3.6 Curvatura horizontal promedio (C).	19
5.1.A Costo total actualizado de las pendientes de referencia para una carretera tipo A2. Pendiente media del terreno natural = 5%.	36
5.1.B Costo total actualizado de las pendientes de referencia frente a los porcentajes de vehículos pesados para una carretera tipo A2. Pendiente media del terreno natural = 5%.	36
5.2 Costo total actualizado frente al tránsito inicial en una carretera tipo A2. Porcentaje de vehículos pesados = 35%.	38

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
5.3 Costo total actualizado frente al porcentaje de vehículos pesados para una carretera tipo A2. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%.	38
5.4 Costo total actualizado frente a la tasa de crecimiento del tránsito para una carretera tipo A2. Tasa anual de actualización = 10%.	39
5.5 Costo total actualizado frente a la tasa anual de actualización para una carretera tipo A2. Pendiente media del terreno natural = 6%.	39
6.1 Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A4. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%.	42
6.1.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A4. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%.	42
6.1.B Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A4. Tasa anual de actualización = 12%.	44
6.2 Pendientes de referencia recomendables para diferentes volúmenes de tránsito y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A4. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%.	44
6.2.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes volúmenes de tránsito y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A4. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%.	45

Figura	Pág.
6.3 Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A2. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%.	45
6.3.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A2. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%.	47
6.3.B Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A4. Tasa anual de actualización = 12%.	47
6.4 Pendientes de referencia recomendables para diferentes volúmenes de tránsito y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A2. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%.	49
6.4.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes volúmenes de tránsito y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A2. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%.	49
6.5 Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo B. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%.	51
6.5.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo B. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%.	51
6.5.B Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo B. Tasa anual de actualización = 12%.	52

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
6.6 Pendientes de referencia recomendables para diferentes volúmenes de tránsito y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo B. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%.	52
6.6.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes volúmenes de tránsito y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo B. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%.	54
6.7 Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo C. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%.	54
6.7.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo C. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%.	56
6.8 Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo D. Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%.	56
 <b>Cuadro</b>	
2.1 Clasificación y características de las carreteras.	5
3.1 Rango recomendado para la pendiente media del terreno natural, pendiente media del camino y ancho de corona.	14
4.1 Alternativas de construcción.	22
4.2 Precios unitarios de construcción.	23

<b>Cuadro</b>	<b>Pág.</b>
4.3 Estimación de los costos de construcción por kilómetro en millones de pesos.	24
4.4 Tránsitos iniciales por tipo de carretera.	25
4.5 Composición promedio del tránsito por región y rango.	26
4.6 Composición del tránsito.	27
4.7 Tasas de crecimiento media anual del tránsito.	29
4.8 Datos para calcular los costos de operación de vehículos.	30
4.9 Costos de operación de vehículos (COV).	31
7.1 Pendientes de referencia recomendables.	59



## Resumen

---

La decisión del diseño geométrico de un camino no debe basarse exclusivamente en los aspectos técnicos, sino que se debe complementar con un análisis económico que contemple los principales costos del transporte durante el horizonte de proyecto.

Las normas de diseño geométrico definen características de geometría para cada tipo de carretera en distintas condiciones del terreno, siendo la pendiente gobernadora el elemento principal de comparación ante las posibles recomendaciones a las normas; por eso, se utiliza el término de pendiente de referencia para hacer mención a la pendiente que se está proponiendo.

Los costos de construcción y de operación de vehículos se consideran como los más importantes afectados por la pendiente gobernadora y el costo total es la suma de ambos.

Los costos de construcción se definen en función del tipo de terreno y de las características geométricas de la carretera, mientras que los costos de operación vehicular se definen por los tipos de vehículos, el tránsito, la composición y la tasa de crecimiento. Así, un análisis económico involucra a las variables antes mencionadas.

Para el análisis económico se toma en cuenta el costo total mínimo que corresponde a una pendiente de referencia recomendable, que varíe de acuerdo con las características del tránsito y las condiciones del terreno natural.

Un programa de cómputo auxilia en el cálculo de los costos. Se agrupan los resultados de pendientes mínimas, llegando a un cuadro resumen que, para diferentes rangos de tránsito de proyecto, recomienda pendientes de referencias bajo diversas condiciones del terreno natural.

En general, para las carreteras tipo C y D se siguen recomendando las pendientes que marcan las normas; para las carreteras tipo A4, A2 y B se recomiendan pendientes menores que las propuestas por las normas, tomando siempre en cuenta la composición y la tasa de crecimiento del tránsito.



# 1. Introducción.

Es de gran importancia para la economía nacional que el proyectista de carreteras cuente con un criterio económico para el mejor diseño geométrico de las carreteras nacionales, buscando siempre minimizar el costo total durante un periodo de análisis, que suele ser una aproximación de la vida del camino, y no sólo guiarse por el costo mínimo de construcción. Con esta motivación y objetivo, en el Instituto Mexicano del Transporte se han desarrollado varios estudios. El presente trabajo constituye uno de ellos, consistente en el análisis económico de pendientes gobernadoras establecidas por las normas de diseño geométrico para los distintos tipos de carreteras. El estudio permitió identificar algunos casos en los que cabría sugerir el uso de pendientes gobernadoras menores a las establecidas, para lograr proyectos geométricos que puedan conducir a menores costos totales.

En el estudio, el costo total se considera como la suma de los costos de construcción y los costos de operación de vehículos. Los costos de construcción dependen del tipo de terreno y de las características geométricas de la carretera y están dominados por los movimientos de tierras; los costos de operación dependen del volumen y la composición del tránsito vehicular, así como del alineamiento del camino, principalmente, del alineamiento vertical.

El vehículo define características de operación que determinan la velocidad que es capaz de recorrer en una pendiente dada. La configuración del terreno impone condiciones al proyecto, que desde un punto de vista de costos de construcción, obligan a la utilización de las especificaciones máximas tolerables, recomendadas por las normas actuales, que generan los costos mínimos de construcción, pero que no siempre conducen al costo total mínimo.

El trabajo se apoyó en los siguientes documentos y estudios: Normas de Proyecto Geométrico de Carreteras (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1984. Ref. 1), de donde se obtuvieron las condiciones geométricas actuales por tipo de carretera y terreno; Elementos de Proyecto y Costos de Operación en Carreteras (Aguerreberre R. y Cepeda F., Instituto Mexicano del Transporte, 1991. Ref. 2), del cual se obtuvieron los costos de operación de los vehículos en condiciones nacionales; *The Highway Design and Maintenance Standards Model. Vol. 1 Description of the HDM-III Model.* (Watanatada, T. et al, 1987. Ref. 3), del que se tomó el modelo para estimar los volúmenes de obra de construcción en carreteras; del documento Resumen de Precios Unitarios de Construcción (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1990. Ref. 4), se obtuvieron los principales costos promedio de construcción; finalmente del Estudio de Pesos y Dimensiones en la Red Carretera para Vehículos de más de Tres Ejes (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1991. Ref. 5), se

tomaron las condiciones promedio de composición de vehículos pesados y tasa de crecimiento media anual del tránsito.

Con base en la información de los documentos y estudios mencionados, se procedió a proponer alternativas geométricas de carreteras para calcular los costos de construcción y alternativas de volúmenes de tránsito inicial, porcentajes de vehículos pesados y tasas de crecimiento media anual del tránsito para calcular los costos de operación. Obteniendo ambos costos (a valor presente), se procede a realizar la evaluación del costo total mínimo de pendientes denominadas "de referencia de camino", que equivalen al concepto de pendiente gobernadora. El anexo A presenta la pendiente de referencia de costo total mínimo para todos los casos revisados.

Un programa de cómputo (anexo B), hecho exprofeso, auxilia en el proceso de cálculo de costos y permite obtener la pendiente de referencia del camino con costo total mínimo.

## **2. Condiciones actuales de las Normas de Proyecto Geométrico de carreteras**

---

El presente capítulo describe brevemente los elementos principales que serán considerados para el análisis económico de las Normas de Proyecto Geométrico de Carreteras vigentes.

Las Normas de Proyecto Geométrico (Ref. 1) son una publicación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes que recomienda al proyectista o diseñador de carreteras los lineamientos geométricos requeridos para los diferentes tipos de las mismas. El cuadro 2.1 resume dichos lineamientos.

### **2.1 Clasificación de las carreteras.**

Según las normas, las carreteras se clasifican respecto del tránsito diario promedio anual (TDPA) en el horizonte de proyecto, en:

a) Tipo A:

Tipo A4 TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos.

Tipo A2 TDPA de 3,000 a 5,000 vehículos.

b) Tipo B TDPA de 1,500 a 3,000 vehículos.

c) Tipo C TDPA de 500 a 1,500 vehículos.

d) Tipo D TDPA de 100 a 500 vehículos.

e) Tipo E TDPA hasta 100 vehículos.

### **2.2 Tipos de terreno.**

Los tipos de terreno plano, de lomerío y montañoso, definidos por las normas, determinan las características geométricas principales de una carretera.

Para la correcta interpretación de las normas, las configuraciones de terreno se especifican como sigue:

a) **Terreno tipo plano.** "Aquél cuyo perfil acusa pendientes longitudinales uniformes y generalmente de corta magnitud, con pendiente transversal escasa o nula."

**b) Terreno tipo lomerío.** "Aquél cuyo perfil longitudinal presenta en sucesión cimas y depresiones de cierta magnitud, con pendiente transversal no mayor que 45%."

**c) Terreno tipo montañoso.** "Es aquél que tiene pendientes transversales mayores que 45%, caracterizado por accidentes topográficos notables."

La clasificación del terreno se define no solamente por su configuración topográfica, sino por las características que el terreno imprime a la carretera, tanto en su geometría como en la magnitud de sus movimientos de tierra.

## **2.3 Pendiente gobernadora.**

La pendiente gobernadora es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea subrasante para dominar un desnivel determinado en función de las características del tránsito y la configuración del terreno (Ref. 6).

El valor de la pendiente gobernadora y de otras características geométricas se muestran en el cuadro 2.1 para diferentes tipos de carretera y condiciones de terreno.

Cuadro 2.1 Clasificación y características de las carreteras.

CONCEPTO	UNIDAD	TIPO					DE					CARRETERA						
		E		D		C		B		A		A		A		A		
TOPA EN EL HORIZ. DE PROYECTO	VEHICIA	HASTA 100		DE 100 A 500		DE 500 A 1.500		DE 1.500 A 3.000		MAS DE 3.000								
TERRENO	-																	
VELOCIDAD DE PROYECTO	Km/h	30	40	50	60	70	80	90	100	100	110	110	110	110	110	110	110	110
DIST. DE VISIBILIDAD DE PARADA	m	30	40	55	75	95	40	55	75	95	115	135	155	175	75	95	115	135
DIST. DE VISIBILIDAD DE REBASE	m	-	-	-	-	-	135	180	225	270	315	360	405	450	225	270	315	360
GRADO MAXIMO DE CURVATURA	Grados	60	30	17	11	7.5	30	17	11	7.5	5.5	4.2	3.2	2.75	11	7.5	5.5	4.25
CURVAS	CRESTA	4	7	12	20	36	3	4	6	14	20	31	43	57	8	14	20	31
	K	4	7	10	15	20	4	7	10	15	20	7	10	15	20	25	31	37
	EN REBASE	18	32	50	73	99	18	32	50	73	99	130	164	200	50	73	99	130
VERTICALES	m	20	30	30	40	40	20	30	30	40	40	30	30	40	40	50	60	60
FENDIENTE GOBERNADORA	%	9	7	-	-	-	6	5	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4
FENDIENTE MAXIMA (P <sub>máx</sub> )	%	13	10	7	7	7	8	7	5	4	6	6	5	4	6	6	5	4
LONGITUD CRITICA PARA P <sub>máx</sub>	m	120	170	-	-	-	130	200	240	280	340	410	410	410	340	340	340	410
ANCHO DE CALZADA	m	4	4	-	-	-	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7
ANCHO DE CORONA	m	4	4	-	-	-	6	6	7	7	9	9	9	9	9	9	9	9
ANCHO DE ACOTAMIENTOS	m	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1
ANCHO DE FAJA SEP. CENTRAL	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BOMBEO	%	3	3	-	-	-	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SOBREELEVACION MAXIMA (S <sub>máx</sub> )	%	10	10	-	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Notas: TDPA Triángulo dielmo promedio anual.  
 A2 Carretera de dos carriles.  
 A4 Carretera de cuatro carriles de un cuerpo.  
 A4S Carretera de cuatro carriles de cuerpos separados.

Las áreas sombreadas en los renglones de tipo de terreno relacionan a éstas con los valores de las columnas para los conceptos de los renglones subsiguientes.  
 Normas de Proyecto Geométrico de Carreteras (Rel. 1).



### **3. Modelo de costos de construcción y costos de operación de vehículos**

---

En este capítulo se describen los modelos de costos de construcción y de operación de vehículos y se destaca la importancia que tiene la configuración del terreno, la geometría del camino y las características de los vehículos en la estimación de los costos de construcción y operación en una carretera.

#### **3.1 Modelo de costos de construcción.**

El modelo de costos de construcción utilizado forma parte del modelo *HDM-III* (Ref. 3). Se ha elegido este modelo debido a que satisface los requerimientos de este trabajo; un modelo parecido no existe en nuestro país.

El modelo se basa en los estudios de Aw (1981, 1982) y Markow y Aw (1983), a partir de los cuales Tsunokawa (1983) obtuvo las relaciones para estimar volúmenes de obra de carreteras.

Los estudios señalados consistieron en el acopio y análisis de datos sobre volúmenes de construcción de 52 proyectos localizados en 28 países de Asia, Africa, Centro y Sudamérica<sup>1</sup>. Las regiones donde estos proyectos fueron construídos poseen diversas configuraciones topográficas, climas y características del suelo. De un total de 236 observaciones realizadas, el 42, 24 y 34% fueron en terreno montañoso, de lomerío y plano, respectivamente, abarcando caminos de terracería hasta caminos pavimentados. Los tipos de caminos muestreados varían desde caminos alimentadores hasta caminos de cuatro carriles, con velocidades de proyecto desde 30 hasta 100 km/h.

Con base en lo anterior Tsunokawa estableció relaciones para el cálculo de volúmenes de obra en función de la pendiente media del terreno natural (PMTN), de la pendiente media del camino (PMC) y del ancho de la corona (AC).

---

<sup>1</sup> Estos países incluyen a Indonesia, Nueva Guinea, Filipinas, Taiwán y Tailandia en el Este de Asia y la región del Pacífico; Nepal y Pakistán en el Sur de Asia; Siria y Turquía en el Medio Oriente; Etiopía, Kenia, Malawi, Somalia, Sudán, Swaziland, Uganda y Upper Volta en el Este y Oeste de Africa; Honduras, El Salvador y Panamá en Centroamérica; Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú en Sudamérica.

### **3.1.1 Principales conceptos de obra.**

Para posteriormente calcular los costos de construcción, es necesario conocer primeramente la topografía del terreno y el diseño geométrico de la carretera que se desea construir.

Los costos de construcción dependen de los volúmenes de obra y de los precios unitarios de cada concepto.

En la figura 3.1 se ilustran esquemáticamente los costos de construcción, que pueden, en lo general, ser expresados con ocho componentes. Algunos, no demasiado familiares, se detallan en lo que sigue:

#### **a) Trabajos preliminares para preparación del lugar.**

La preparación del lugar incluye la construcción de caminos de acceso, la tala de árboles, limpieza y trazo y el desplazamiento de obstáculos en la construcción de un camino nuevo.

El área de limpieza y despalme por unidad de longitud se calcula con la siguiente expresión:

$$ALD = 1770 \exp(0.278 \text{ PMTN}) + 1610 \exp(-0.114 \text{ PMTN}) AC$$

Donde:

ALD = el área promedio de limpieza y despalme por unidad de longitud del camino, en  $m^2/Km$

PMTN = pendiente media del terreno natural, en %

AC = ancho de la corona, en metros

$$AC = C + 2 ACOT$$

C = ancho de calzada en metros

ACOT = ancho de los acotamientos, en metros

La figura 3.2 ilustra la forma de calcular la pendiente media del terreno natural, donde "Ai" es el desnivel en un tramo ascendente en metros y "Di", el desnivel en metros de un tramo descendente;  $L_{AB}$  es la longitud en kilómetros de un tramo homogéneo y 10 es un factor de conversión de unidades.

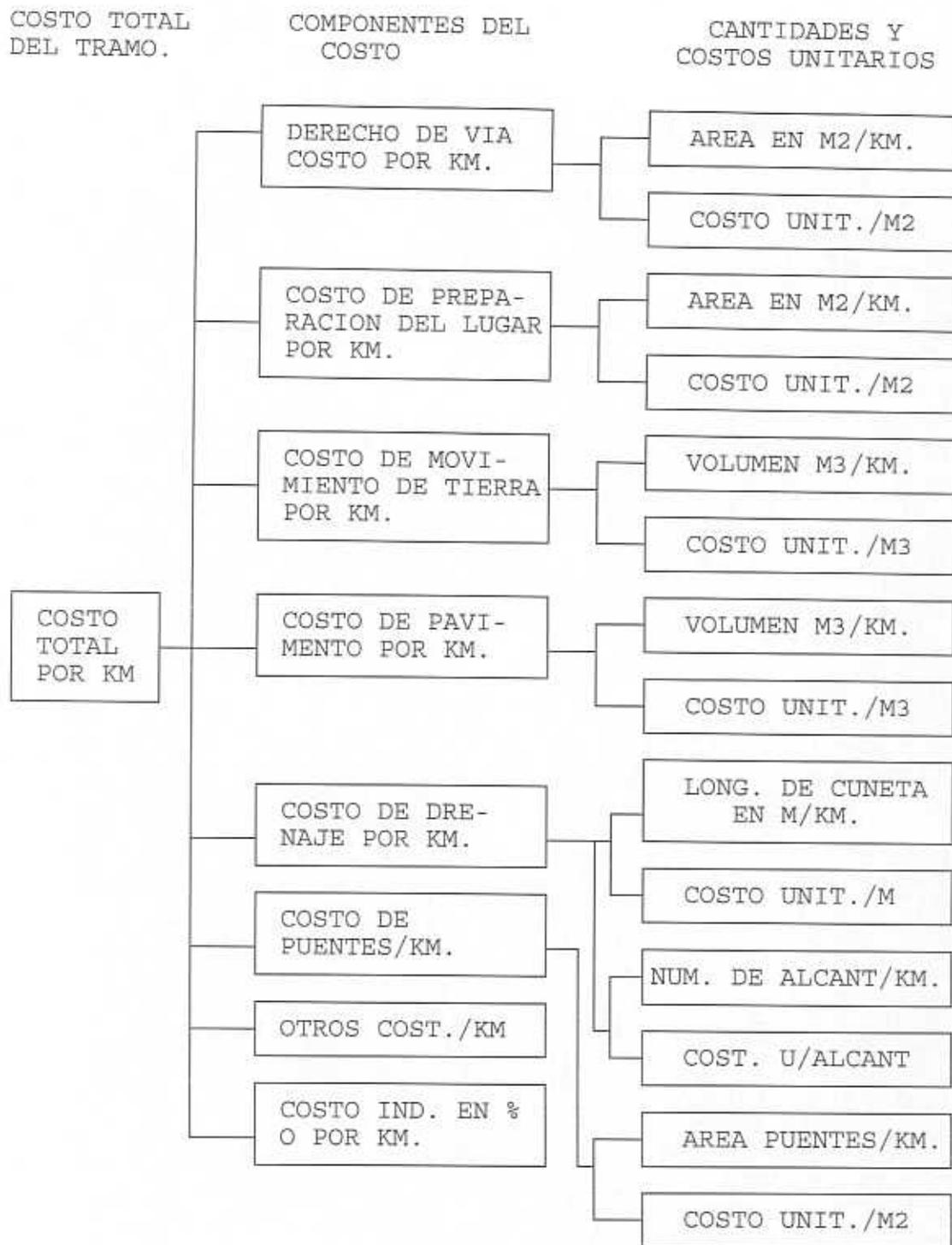


Figura 3.1 Principales conceptos de los costos de construcción en una carretera.

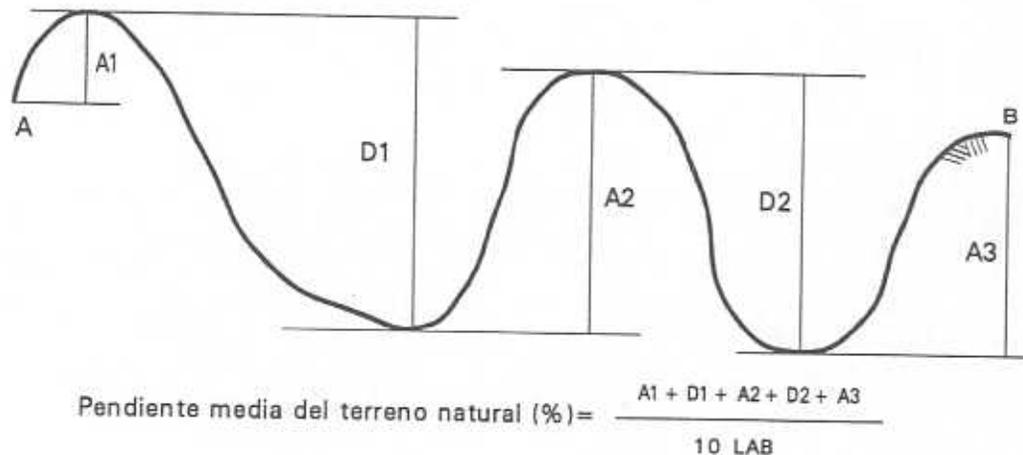


Figura 3.2 Pendiente media del terreno natural (PMTN).

#### b) Movimientos de tierras (terracerías).

En el marco de este trabajo, las terracerías o movimiento de tierras son el concepto más importante de los costos de construcción porque relacionan la geometría del camino con las características del terreno natural.

El movimiento de tierras es el resultado de adaptar el terreno natural a las condiciones geométricas del perfil del camino. Los volúmenes de tierra movida dependen de los cortes y rellenos que se realicen para cada tipo de terreno.

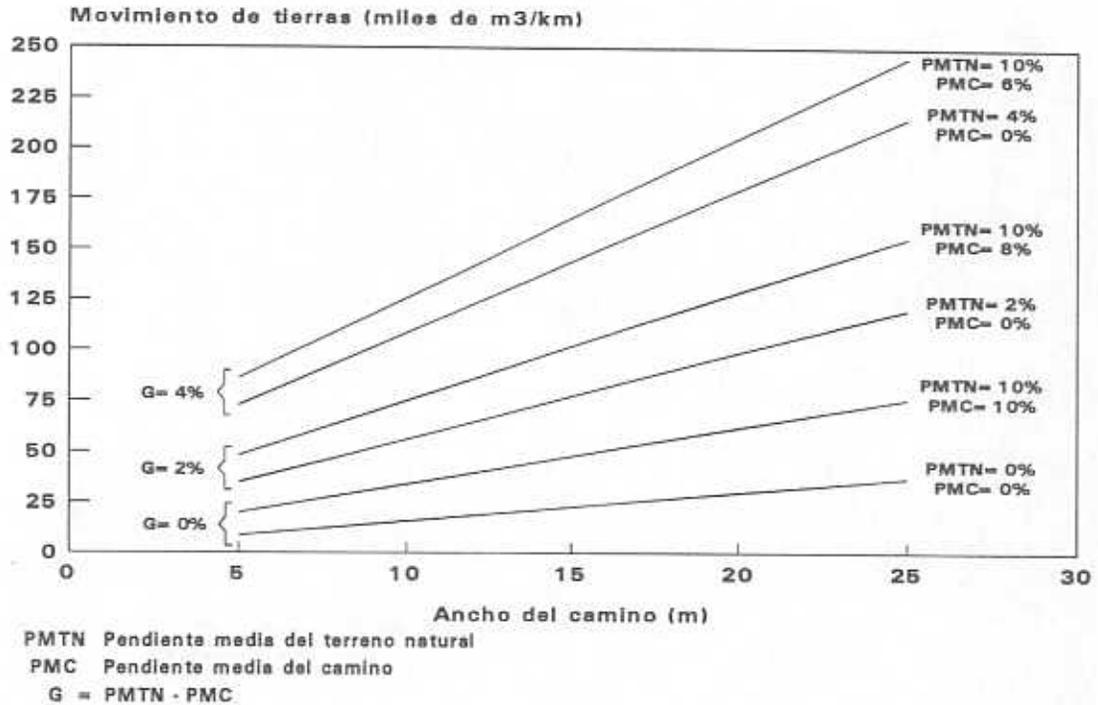
El volumen del terraplén se calcula tomando en cuenta el proyecto de la subrasante definida por las condiciones topográficas, geotécnicas implícitas en los datos de base del modelo y los costos de las terracerías.

La figura 3.3 muestra los resultados obtenidos por Tsunokawa en la estimación del movimiento de tierras (Ref. 3). La figura 3.3a, muestra la variación del movimiento de tierras respecto del ancho de corona para diferentes pendientes medias del camino (PMC) y pendientes medias del terreno natural (PMTN). La figura 3.3b muestra el movimiento de tierras para los anchos de corona de 9 y 15 metros.

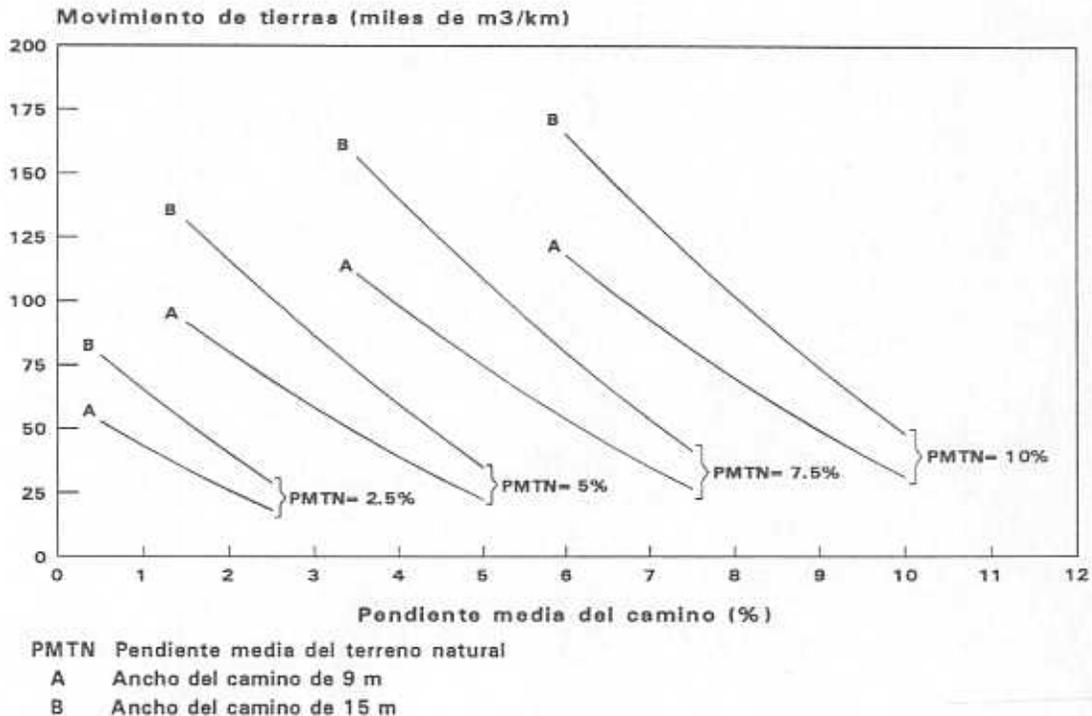
Tomando en cuenta tanto el ancho de corona como la diferencia entre la pendiente media del terreno natural y la del camino, puede estimarse el movimiento de tierras mediante la siguiente relación de Tsunokawa:

Figura 3.3 Estimación del volumen de movimiento de tierras:

a) Respecto al ancho del camino.



b) Respecto a la pendiente media del camino (PMC).



Fuente: Adaptación con base en los análisis de Tsunokawa, 1983.

$$\text{TERR} = 1000 (\text{AC} + 0.731 \text{H}) \text{H}$$

Donde:

TERR = el volumen de tierra movida por unidad de longitud del camino, en  $\text{m}^3/\text{Km}$

H = altura efectiva del movimiento de tierras, en metros

$$\text{H} = 1.41 + 1.29 \text{G} + 0.139 \text{PMTN}$$

PMTN = pendiente media del terreno natural, en %

PMC = pendiente media del camino, en %

G = diferencia entre la pendiente del terreno natural y la del camino.

$$\text{G} = \text{PMTN} - \text{PMC}$$

La figura 3.4 muestra la forma de calcular la pendiente media del camino (PMC), donde "ACi" es la altura relativa de las cimas y "DCi" es el desnivel relativo de los valles;  $L_{AB}$  es la longitud en kilómetros de un tramo homogéneo y 10 es un factor de conversión de unidades.

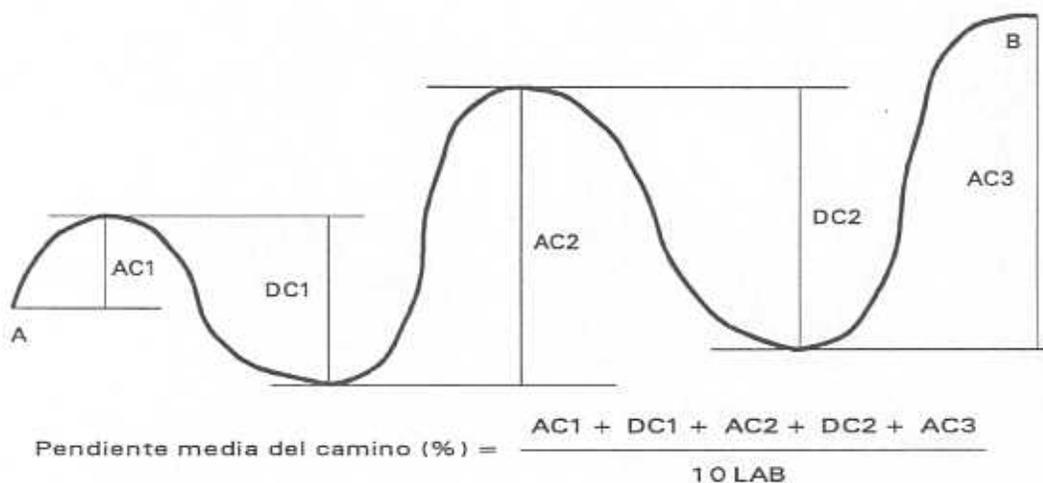
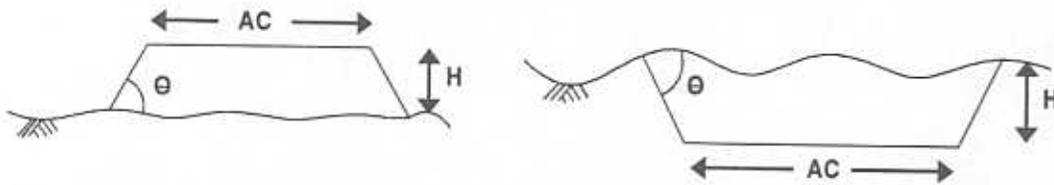


Figura 3.4 Pendiente media del camino (PMC).

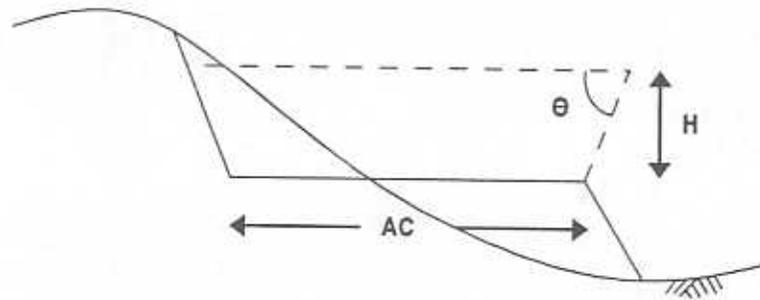
La figura 3.5 muestra las alturas efectivas de los trapecoides equivalentes en secciones transversales típicas sin corte, con corte medio y con corte alto.

Figura 3.5 Secciones típicas del terraplén y sus trapezoides equivalentes.

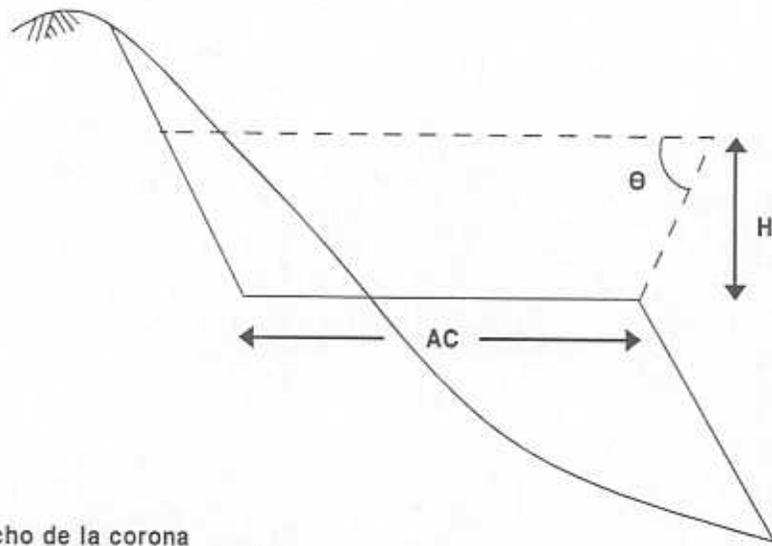
a) Sin corte



b) Corte medio



c) Corte alto



AC Ancho de la corona  
H Altura efectiva del terraplén  
 $\Theta$  Angulo de corte

Los rangos que establece el modelo como aplicables para la pendiente media del terreno natural (PMTN), del camino (PMC) y para la diferencia entre las pendiente de los perfiles (G) se muestran en el cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1 Rango recomendado para la pendiente media del terreno natural, pendiente media del camino y ancho de corona.**

VARIABLE	UNIDAD	RANGO RECOMENDADO
Pendiente media del Terreno natural (PMTN)	%	0 - 10
Pendiente media del Camino 1 (PMC)	%	0 - 7.5
Diferencia entre la PMTN y la PMC 1 (G)	%	0 - 5
Ancho de corona (AC)	m	5 - 25

<sup>1</sup> Se usa sólo en el movimiento de tierra.

### c) Pavimentos.

La sub-base, la base y la carpeta forman el pavimento de la carretera. Los espesores, el ancho de la corona y la longitud a construir definen los volúmenes de los pavimentos, en m<sup>3</sup>/Km.

### d) Drenaje.

Corresponden al rubro de drenaje las alcantarillas y cunetas. El modelo de costos de construcción considera en el concepto de drenaje a las alcantarillas con diámetro menor ó igual que 1.5 metros y a las cunetas con un ancho menor ó igual que un metro. Los costos de alcantarillas y cunetas con dimensiones mayores se consideran en "otros costos".

**Cunetas.** La siguiente relación es usada para la estimación de la longitud de cunetas regulares por unidad de longitud del camino.

$$\text{DRL} = \begin{cases} 1.97 \text{ ALPC} & \text{si } 0\% \leq \text{PMTN} < 1\% \text{ terreno plano} \\ 1.74 \text{ ALPC} & \text{si } 1\% \leq \text{PMTN} < 4\% \text{ terreno lomerío} \\ 2.02 \text{ ALPC} & \text{si } 4\% \leq \text{PMTN} \text{ terreno montañoso} \end{cases}$$

Donde:

DRL = longitud total de cuneta regular por unidad de longitud del camino, en m/Km; y

ALPC = longitud promedio de cunetas regulares en metros, expresada por:

$$ALPC = 2.57 \exp(-0.0313 \text{ PMTN}) AC^{0.895}$$

**Alcantarillas.** El número promedio de alcantarillas regulares por unidad de longitud del camino (ANBC) es estimado en el modelo de la siguiente manera:

$$ANBC = \begin{cases} 0.27 & \text{si } 0\% \leq \text{PMTN} < 1\% \\ 0.15 & \text{si } 1\% \leq \text{PMTN} < 4\% \\ 0.12 & \text{si } 4\% \leq \text{PMTN} \end{cases}$$

Obsérvese que en la estimación de la longitud de cunetas y del número promedio de alcantarillas por unidad de longitud de camino depende únicamente de la pendiente media del terreno natural (PMTN).

#### **f) Puentes.**

El modelo estima el área por kilómetro de pequeños puentes (para claros menores que 60 metros) con las siguientes expresiones:

$$AB = \begin{cases} 4.35 \text{ RW} & \text{si } 0\% \leq \text{PMTN} < 1\% \\ 2.09 \text{ RW} & \text{si } 1\% \leq \text{PMTN} < 4\% \\ 1.83 \text{ RW} & \text{si } 4\% \leq \text{PMTN} \end{cases}$$

Donde:

$$AB = \text{promedio de área de puentes por unidad de longitud de camino, en m}^2/\text{Km}$$

#### **f) Otros costos.**

Los "otros costos" son todos aquéllos que no se consideraron dentro de los costos normales; por ejemplo, un puente grande (con claro mayor que 60 metros), una alcantarilla con diámetro mayor que 1.5 metros, una cuneta con ancho mayor que un metro, etc; su estimación puede incluirse en el modelo como una cantidad fija por kilómetro.

#### **g) Costos indirectos.**

Los costos indirectos se pueden estimar como porcentaje de los costos directos por kilómetro construido, o si es preciso, se puede conocer su valor en forma detallada.

Pueden considerarse dentro de este rubro los costos administrativos, costos del almacenamiento, transporte de personal, estudios del anteproyecto, etc.

Considerando el caso de una pendiente media del terreno natural (PMTN) y proponiendo diferentes pendientes medias del camino (PMC), según el modelo, los volúmenes obra carretera estimados serían los mismos, con excepción del movimiento de tierras.

El anexo B presenta un listado de un programa computacional, elaborado en el Instituto Mexicano del Transporte, que incluye las fórmulas necesarias para estimar los volúmenes de obra carretera.

### **3.2 Modelo de costos de operación de vehículos.**

Para calcular los costos de operación de vehículos se utilizó, en este trabajo, el modelo VOC (*Vehicle Operating Costs*. Ref. 7), adaptado a las condiciones nacionales por el Instituto Mexicano del Transporte (Ref. 2 y 8).

Los costos de operación de vehículos indican cuánto le cuesta a los usuarios circular por una carretera con ciertas características geométricas.

Las condiciones superficiales de la carretera y el efecto del congestionamiento en los costos de operación no son considerados en este estudio.

Los costos de operación se determinan por kilómetro de camino e incluyen los siguientes conceptos.

- 1.- Consumo de combustible.
- 2.- Consumo de lubricantes.
- 3.- Consumo de llantas.
- 4.- Tiempo del operador.
- 5.- Tiempo de pasajeros.
- 6.- Mano de obra de mantenimiento.
- 7.- Refacciones.
- 8.- Depreciación.
- 9.- Interés.
- 10.- Costos indirectos.

Los costos de consumo de combustible y tiempo de operarios y pasajeros dependen de la velocidad promedio de recorrido.

Los costos de consumo de lubricantes, llantas, mano de obra de mantenimiento y refacciones están en función de las condiciones superficiales del camino.

La depreciación e interés dependen de la vida útil del vehículo, del índice de utilización horaria y del precio del vehículo nuevo.

Los costos indirectos incluyen los pagos por tenencia, permisos de circulación, placas, administración, etc.

A continuación se describen los principales elementos geométricos de una carretera que repercuten, de acuerdo con el modelo VOC, en los costos de operación vehicular.

### **3.2.1 Características geométricas que influyen en los costos de operación de vehículos.**

Las características geométricas de la carretera que influyen en los costos de operación son la pendiente media del camino (PMC), la curvatura horizontal media (C), la sobreelevación (S) y el número de carriles.

#### **a) Pendiente media del camino (PMC), en %.**

La pendiente es el único elemento del alineamiento vertical que utiliza el modelo VOC para calcular los costos de operación de vehículos.

La pendiente media del camino es la suma de los desniveles de los tramos ascendentes y descendentes, en metros, entre la longitud total del tramo, en kilómetros y por un factor de conversión de unidades, la forma de calcularse se mostró en la figura 3.4.

Cuando se analiza un viaje redondo, éste es, de ida y regreso, la pendiente media del camino es ascendente en un sentido y descendente en sentido contrario. Esto es, la mitad del viaje redondo será en ascenso y la otra mitad en descenso.

#### **b) Proporción del viaje ascendente como una fracción.**

La proporción del viaje ascendente se calcula con la siguiente expresión:

$$PVA = \frac{La}{Lt}$$

Donde:

PVA = proporción del viaje ascendente, como fracción

La = longitud total ascendente, en Km

Lt = longitud total del recorrido, en Km

Para el cálculo de costos de operación en este trabajo, se consideró que: Cuando un vehículo realiza un viaje redondo por una misma ruta, proporción de viaje ascendente para el cálculo de los costos de operación será de 0.5. Lo anterior se extiende al cálculo de costos de operación para el total del TDPA de un camino.

**c) Curvatura horizontal promedio (C), en grados/Km.**

La curvatura horizontal promedio es un indicador de la sinuosidad del camino expresamente definido para su uso en los cálculos del VOC; no es utilizado por las normas, pero tiene una relación con el grado de curvatura y el radio tal como se entiende comúnmente.

Por deducción geométrica, para una curva circular simple, el ángulo central de la curva es igual que la deflexión de la tangente, tal como lo muestra la figura 3.6a.

La curvatura horizontal promedio es la suma de las deflexiones de cada curva entre la longitud total del tramo (homogéneo) en análisis; la figura 3.6b y la siguiente fórmula expresa matemáticamente el cálculo:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i}{L_t}$$

Donde:

C = curvatura horizontal promedio, en grados/Km

$\Delta_i$  = deflexión de la tangente en la curva circular i, en grados

Lt = longitud total del tramo, en Km

**d) Sobreelevación y número de carriles.**

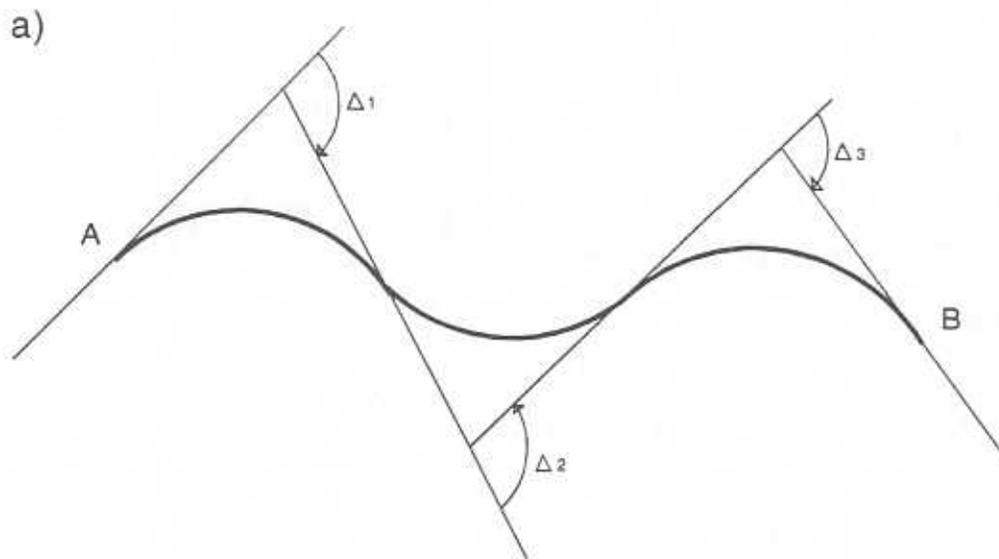
La sobreelevación y el número de carriles son elementos de la sección transversal.

**La sobreelevación.**

El modelo de costos de operación de vehículos considera que la sobreelevación (S) es función de la curvatura horizontal promedio (C) y puede ser expresada con las siguientes relaciones:

S = 0.012 C para carreteras pavimentadas

S = 0.017 C para carreteras no pavimentadas



$$\text{Curvatura horizontal promedio (grad/km)} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3}{L_{AB}}$$

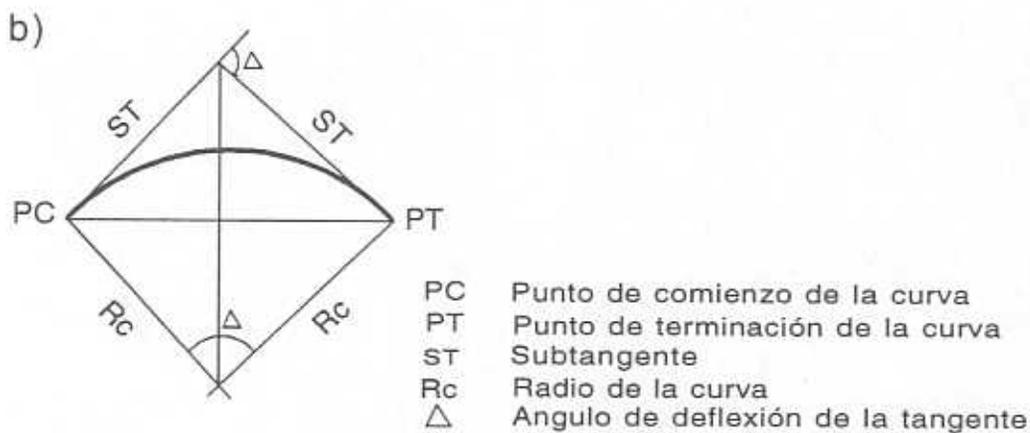


Figura 3.6 Curvatura horizontal promedio (C).

En carreteras pavimentadas, las normas especifican una sobreelevación máxima de 10% para cada tipo de carretera y de condiciones topográficas del terreno natural. La curvatura máxima permitida en función de la sobreelevación es de 833 grad/Km, como puede ser deducido de las relaciones anteriores para S en función de C. Las fórmulas son entonces aplicables para radios menores que 10,000 metros, correspondientes a 0.11 grados de curvatura. Las normas proponen un mínimo de 2.75 grados de curvatura en carreteras tipo A; por tanto pueden tomarse los valores en función de la curvatura que asigna el modelo.

**Número de carriles.**

El modelo VOC sólo distingue dos casos de anchura de corona en los que inciden los costos de operación: cuando la carretera es de un carril único y cuando es de dos o mas carriles, independientemente de su anchura y de la existencia de acotamientos. En este estudio, los casos analizados son siempre de dos o mas carriles (carreteras tipos A, B, C y D), por lo que no hay variación de los costos calculados debido a este factor.

## **4. Definición de alternativas y cálculo del costo total.**

---

El presente capítulo define las alternativas de construcción y de tránsito (casos de análisis), para posteriormente calcular los correspondientes costos.

De acuerdo con los alcances de este trabajo, una delimitación para la generación de alternativas es analizar exclusivamente las carreteras pavimentadas. Así se incluye las de tipo D, C, B, A2, y A4, descartando en el análisis a detalle las carreteras tipo E. En análisis preliminares se encontró que no había variaciones en las pendientes gobernadoras de los caminos tipo E.

En cuanto a las delimitaciones en el tránsito, se considera un flujo libre (sin congestionamiento) y los rangos de tránsito para el horizonte de proyecto, según lo definen las normas, para cada tipo de carretera.

### **4.1 Alternativas de construcción.**

Para generar alternativas de construcción es necesario conocer primeramente las características del terreno donde se desea construir la carretera.

Las alternativas propuestas deben ser variadas y representativas para tipos de carretera en terrenos con características que pueden variar desde condiciones montañosas hasta planas.

#### **4.1.1 Características del terreno.**

En las Normas de Proyecto Geométrico de Carreteras (Ref. 1), no se especifican las características geométricas del terreno natural que debe considerarse como plano, lomerío o montañoso. Sólo se menciona la pendiente transversal del terreno, diciendo que: terrenos con pendiente transversal escasa o nula se consideran terreno plano; para pendientes transversales menores que 45% es lomerío y cuando las pendientes transversales sean mayores que 45% se considera terreno montañoso. Esta caracterización no es de utilidad para los fines que se persiguen en este trabajo; por tanto, es necesario caracterizar el terreno en función de su perfil vertical.

El perfil vertical del terreno natural se define en función de la pendiente media del terreno natural (PMTN). Se proponen siete tipos de terreno natural con pendientes medias que varían desde 2% hasta 8%.

#### **4.1.2 Pendiente media del camino y curvatura horizontal promedio.**

Las alternativas de pendiente media del camino (PMC) están limitadas por la pendiente media del terreno natural (PMTN); es decir, no se puede proponer una alternativa de pendiente del camino mayor que la existente en el terreno natural.

Asociada a la pendiente media del camino, se encuentra la curvatura horizontal promedio (C); esto es, que para cada pendiente propuesta corresponde una curvatura horizontal promedio.

El cuadro 4.1 muestra las alternativas de construcción, definidas la pendiente media del camino y su correspondiente curvatura horizontal promedio, para fines de cálculo.

**Cuadro 4.1 Alternativas de construcción.**

Pendiente media del camino, en % (PMC)	Curvatura horizontal promedio (C), en grad/Km
8	900
7	800
6	600
5	500
4	400
3	200
2	100
1	50

#### **4.1.3 Ancho de corona.**

En la sección transversal se considera sólo el ancho de corona (AC) para cada tipo de carretera y se propone de acuerdo con lo especificado por las normas. Estas recomiendan para una carretera tipo D, un ancho de corona de 6 metros sin acotamientos y para las de tipo C, B, A2 y A4, 7, 9, 12 y 22 metros de corona, respectivamente.

#### **4.1.4 Precios unitarios.**

En el capítulo tres se mencionaron los principales conceptos de construcción de un camino. El cuadro 4.2 muestra los precios unitarios promedio para los principales conceptos.

Según el resumen de precios de 1990 elaborados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Ref. 4), el m<sup>3</sup> de carpeta asfáltica valía de \$96,000.00 hasta \$300,000.00. El precio de la base y sub-base varía desde \$45,000 hasta \$130,000.00 el m<sup>3</sup>. Los precios mostrados en el cuadro 4.2 corresponden a los precios promedio.

**Cuadro 4.2 Precios unitarios de construcción.**

Concepto	Unidad	Precio unitario en pesos
Limpieza del lugar	\$/m <sup>2</sup>	6,000.00
Terracerías*	\$/m <sup>3</sup>	31,303.00
Carpeta asfáltica*	\$/m <sup>3</sup>	189,902.00
Base y sub-base*	\$/m <sup>3</sup>	83,915.00
Cunetas	\$/mlineal	40,000.00
Alcantarillas	\$/unidad	3'000,000.00
Puentes	\$/m <sup>2</sup>	1'400,000.00
Otros costos	\$/km	15'000,000.00
Costos indirectos	%	**

\*Fuente: Subsecretaría de Infraestructura, SCT. 1990. Precios de 1990. Los costos no provenientes de esta fuente, se estimaron con base en una estructura típica de precios promedio de conceptos carreteros (Ref. 9).

\*\* Los costos indirectos y utilidades de las empresas ejecutoras están incluidos en los precios unitarios.

## 4.2 Cálculo de costos de construcción.

Los costos de construcción se obtienen aplicando las fórmulas de modelo de costos de construcción que se mencionaron en el capítulo anterior. En primer lugar, se estima los volúmenes de obra aplicando el modelo de costos de construcción, que relaciona la pendiente media del terreno natural (PMTN), la pendiente media del camino (PMC) y el ancho de la corona (AC). En el anexo B se presenta un programa de cómputo que calcula los costos de construcción aplicando las fórmulas del modelo.

Para obtener los costos de construcción, se multiplican los volúmenes de obra por sus correspondientes precios unitarios mostrados en el cuadro 4.2.

El cuadro 4.3 muestra los costos de construcción por kilómetro para cada tipo de carretera, pendiente media del terreno natural (PMTN) y para cada pendiente media del camino (PMC).

**Cuadro 4.3 Estimación de los costos de construcción por kilómetro en millones de pesos.**

a) Carretera tipo D. Ancho de corona = 6 m.

PRC/PMTN	8	7	6	5	4	3	2
8	931.4						
7	1,360.6	868.7					
6	1,800.0	1,269.7	813.0				
5	2,447.6	1,786.9	1,225.8	782.9			
4	3,105.3	2,360.3	1,714.8	1,167.6	717.5		
3	3,839.2	3,009.8	2,280.0	1,648.4	1,114.0	676.6	
2	4,649.3	3,735.5	2,921.3	2,205.3	1,586.5	1,064.9	638.4
1	5,535.5	4,537.3	3,638.8	2,838.4	2,135.3	1,529.2	1,018.4

b) Carretera tipo C. Ancho de corona = 7 m.

PRC/PMTN	8	7	6	5	4	3	2
8	1,043.2						
7	1,512.8	976.6					
6	2,058.6	1,438.0	917.1				
5	2,680.5	1,975.6	1,370.3	863.3			
4	3,376.7	2,589.4	1,899.7	1,308.3	814.2		
3	4,152.9	3,279.3	2,505.2	1,829.5	1,251.0	770.0	
2	5,003.3	4,045.3	3,186.9	2,426.8	1,764.0	1,198.6	728.3
1	5,929.9	4,887.5	3,944.8	3,100.3	2,353.1	1,703.4	1,148.7

c) Carretera tipo B. Ancho de corona = 9 m.

PRC/PMTN	8	7	6	5	4	3	2
8	1,266.7						
7	1,817.1	1,192.4					
6	2,443.7	1,734.6	1,125.2				
5	3,146.4	2,352.9	1,659.2	1,063.9			
4	3,925.3	3,047.4	2,269.4	1,589.7	1,007.4		
3	4,780.3	3,818.1	2,955.7	2,191.6	1,525.0	956.8	
2	5,711.5	4,664.9	3,718.1	2,869.7	2,118.7	1,466.1	908.0
1	6,718.8	5,587.9	4,556.7	3,624.0	2,788.6	2,051.6	1,409.1

d) Carretera tipo A2. Ancho de corona = 12 m.

PRC/PMTN	8	7	6	5	4	3	2
8	1,602.1						
7	2,273.6	1,516.1					
6	3,021.3	2,179.4	1,437.5				
5	3,845.2	2,918.9	2,092.6	1,364.9			
4	4,745.2	3,734.6	2,823.9	2,011.8	1,297.3		
3	5,721.4	4,626.4	3,631.3	2,734.9	1,936.1	1,236.9	
2	6,773.7	5,594.3	4,514.9	3,534.1	2,650.9	1,867.4	1,177.5
1	7,902.2	6,638.5	5,474.7	4,409.5	3,442.0	2,574.0	1,799.8

e) Carretera tipo A4. Ancho de corona = 22 m.

PRC/PMTN	8	7	6	5	4	3	2
8	2,980.6						
7	4,242.9	2,816.4					
6	5,657.5	4,062.3	2,666.8				
5	7,224.5	5,460.5	3,896.3	2,529.1			
4	8,943.8	7,011.1	5,278.1	3,742.2	2,401.4		
3	10,815.3	8,713.9	6,812.2	5,107.6	3,598.1	2,287.0	
2	12,839.2	10,569.1	8,498.7	6,625.3	4,947.1	3,467.3	2,175.4
1	15,015.4	12,576.6	10,337.4	8,295.3	6,448.4	4,799.8	3,339.2

Nota: PRC Pendiente de Referencia del Camino, en %.  
 PMTN Pendiente Media del Terreno Natural, en %.  
 Precios referidos a 1990.

### 4.3 Alternativas de tránsito inicial.

Para proponer alternativas de tránsito, se utilizó la publicación de la Dirección General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones (Ref. 5), que analiza el flujo de vehículos de carga de tres y más ejes en red federal de carreteras. Algunas conclusiones de este estudio ayudan a definir algunas variables que intervienen en la generación de alternativas de tránsito.

Los tránsitos iniciales (TDPAi) se propusieron de manera tal que el tránsito final (TDPAf) se encuentre dentro de los rangos especificados por las normas. El cuadro 4.4 muestra los tránsitos iniciales para los distintos tipos de carreteras.

**Cuadro 4.4 Tránsitos iniciales propuestos por tipo de carretera.**

Tipo de Carretera	Tránsito diario promedio anual inicial (vehículos /día)			
D	-	-	-	230
C	230	460	550	700
B	700	1,000	1,200	1,400
A2	1,400	1,800	2,000	2,200
A4	2,400	5,000	7,000	9,000

#### 4.3.1 Porcentaje de vehículos pesados.

La composición vehicular influye en el cálculo de los costos de operación de vehículos a lo largo del periodo de análisis.

Para proponer los porcentajes de vehículos pesados se ha utilizado nuevamente el estudio de la Dirección General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones (Ref. 5), que divide al país en cuatro regiones económicas (noroeste, noreste, centro y sureste), con el fin de conocer la composición vehicular y la proyección de los tránsitos respecto de la actividad económica.

El tránsito diario promedio anual (TDPA) se compone de tres tipos de vehículos clasificados como automóviles (A), autobuses (B) y camiones (C). El cuadro 4.5 resume los tránsitos promedio por rango y su composición vehicular en las diferentes regiones del país.

En todos los rangos y regiones, el mayor porcentaje es de automóviles, siguiendo los camiones y por último los autobuses. Se observa que la participación promedio de vehículos pesados para un tránsito menor que

2,000 veh/día en la región 1 (Noroeste) es más de 22%, en la región 2 (Noreste) es de 37%, en la región 3 (Centro) es de 35% y en la región 4 (Sureste) es de aproximadamente un 40% del tránsito total. Este tránsito límite corresponde al tránsito inicial que con una tasa de crecimiento media anual del 4%, llegaría a 5,000 veh/día en un periodo de 20 años. 5,000 veh/día es el límite que las normas señalan para una carretera A2.

**Cuadro 4.5 Composición promedio del tránsito por región y rango.**

Rango (Veh/día)	A %	B %	C %
Región Noroeste			
1- 2,000	76.79	2.71	20.40
2,001- 5,000	73.85	3.65	22.47
5,001-10,000	73.90	3.98	22.12
10,001-20,000	83.13	2.37	14.40
más de 20,000	80.00	3.00	17.00
Región Noreste			
1- 2,000	63.02	5.18	31.78
2,001- 5,000	65.95	6.05	27.99
5,001-10,000	56.23	3.67	40.07
10,001-20,000	88.00	4.00	8.00
más de 20,000	0.00	0.00	0.00
Región centro			
1- 2,000	65.03	7.67	27.30
2,001- 5,000	66.86	7.24	25.86
5,001-10,000	69.82	5.98	24.14
10,001-20,000	70.90	6.80	22.31
más de 20,000	74.88	7.72	17.41
Región Sureste			
1- 2,000	60.01	5.19	34.86
2,001- 5,000	67.52	6.18	26.25
5,001-10,000	64.69	6.01	29.29
10,001-20,000	65.81	4.19	29.98
más de 20,000	0	0	0

Nota: A Automóviles  
 B Autobús  
 C Camiones.

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT. Ref. 5.

Tomando en cuenta las observaciones anteriores y con el fin de establecer una variedad de casos de análisis representativa de la realidad, se propusieron las composiciones del cuadro 4.6, que arrojan 18, 22, 35, 37 y 42% de vehículos pesados. Se incluye el 18% como un límite inferior y se establece un 42% de vehículos pesados como límite superior; adicionalmente se agrega el 27% para cerrar un poco más los intervalos inferiores.

**Cuadro 4.6 Composiciones del tránsito.**

Tipo de vehículo	Composición del tránsito en %					
	Camión articulado	6	9	10	11	15
Camión tipo C-2	8	9	12	15	15	18
Autobús	4	4	5	9	7	7
<b>Total de vehículos pesados en %</b>	<b>18</b>	<b>22</b>	<b>27</b>	<b>35</b>	<b>37</b>	<b>42</b>
Camión ligero	6	7	8	10	10	11
Automóvil	76	71	65	55	53	47
<b>Total de vehículos ligeros en %</b>	<b>82</b>	<b>78</b>	<b>73</b>	<b>65</b>	<b>63</b>	<b>58</b>

El desglose de los vehículos pesados para cada caso, corresponde a los promedios de los porcentajes de vehículos de 2 y 3 ejes (considerado como C2) y de 4 y más ejes (camión articulado), reportados en la Ref. 5, para aforos menores que 2,000 veh/día y porcentajes de vehículos pesados del orden de 22, 35 y 37%, respectivamente. La participación de autobuses se ajustó para dar el porcentaje de vehículos pesados requerido.

El desglose del resto de los casos (18, 27 y 42% de vehículos pesados) fue definido considerando que a mayor porcentaje de vehículos pesados, se tendrá una mayor proporción de camiones de todo tipo que de autobuses.

En cuanto a los vehículos ligeros, con el propósito de tomar en consideración el hecho de que en las carreteras nacionales circula un número significativo de camionetas de doble rodada (camión ligero), con incidencia propia en los costos de operación vehicular del total del tránsito, se asignaron los porcentajes que aparecen en el cuadro 4.6; los aforos tradicionales no distinguen el número de estos vehículos del resto, por lo que usualmente quedan comprendidos en la clasificación "A".

### **4.3.2 Tipos de vehículos.**

En la definición de los tipos de vehículos para la estimación de los costos de operación vehicular, se utilizó como base el estudio realizado por el Instituto Mexicano del Transporte (Ref. 2), el cual analiza 5 tipos de vehículos que son los más comunes de los que circulan en la red carretera. Estos vehículos son:

- 1.- Camión articulado, DINA 861 MOTOR CUMMINS NTC 350, MODELO 1990, con un semirremolque de tres ejes con una caja de 40 pies.
- 2.- Camión mediano, DINA S-551 MOTOR PERKINS T6 3544 TH, Modelo 1990, con carrocería de redilas de 22 pies.
- 3.- Camión liviano de gasolina, FORD F-350 MODELO 1990, con carrocería de redilas.
- 4.- Autobús, MASA INTEGRAL FORANE0 PARA 2A. CLASE, MODELO 2030-F MOTOR DIESEL 6V92TA, 1990.
- 5.- Vehículo ligero (utilitario o automóvil), PANEL VOLKSWAGEN, MODELO 1990, con motor de 75 HP (SAE neto).

Entre los vehículos analizados, se consideran como ligeros (tipo "A" en la nomenclatura tradicional de los aforos), al vehículo ligero y al camión liviano; como pesados, al autobús (tipo "B"), al camión mediano y al camión articulado (tipos "C2" a "C6 y más").

Aunque existen otras combinaciones de los vehículos aceptados para transitar por la red federal, los costos de operación no distan mucho del tipo mencionado que se asemeje a ellos.

### **4.3.3 Tasa de crecimiento media anual del tránsito.**

La tasa de crecimiento media anual del tránsito (TCMA en %) mide el incremento que sufre el tránsito anualmente; la forma de calcular el tránsito incrementado es la siguiente:

$$TDPA_f = TDPA_i (1 + TCMA/100)^n$$

Donde:

$TDPA_f$  = tránsito diario promedio anual al final del periodo

$TDPA_i$  = tránsito diario promedio anual al inicio  
del período de análisis

TCMA = tasa de crecimiento media anual del tránsito, en %

$n =$  período de análisis, en años

Para proponer las tasas de crecimiento, nuevamente se utilizó el estudio de los vehículos de carga (Ref. 5) que estima las tasas de crecimiento con el siguiente procedimiento:

1. Primeramente se recopiló toda la información de tránsito del periodo 1974-1989, para los tramos definidos en el estudio y en cada tramo se obtuvo una ecuación ajustada por el método de regresión lineal. En general para cada tramo se obtuvo una tasa promedio de crecimiento de 4%, considerada como una tasa histórica y conservadora.
2. A continuación el estudio de referencia toma en cuenta al Producto Interno Bruto (PIB) como una variable económica y pronostica que, a partir de 1989, el PIB tendría un crecimiento gradual de 3% al 6%, en 1994. Con un modelo de correlación entre PIB y tránsito, el estudio extrapola las tasas de crecimiento futuras para cada rango de tránsito. Los resultados que obtiene se muestran en el cuadro 4.7.

Con base en el cuadro 4.7 y lo señalado en 1, se eligieron las tasas de crecimiento de 4% y 7% para el análisis en este trabajo. La tasa de 4% refleja las condiciones históricas y conservadoras y la de 7% corresponde al rango de 1 a 2,000 veh/día cuando se involucra al Producto Interno Bruto como variable.

**Cuadro 4.7 Tasas de crecimiento media anual del tránsito.**

Rango del TDPA (veh/día)	TCMA (%)
1 - 2,000	7.07%
2,001 - 5,000	7.72%
5,001 - 10,000	8.32%
10,001 - 20,000	9.57%
Más de 20,000	10.40%

Nota: TDPA Tránsito diario promedio anual.

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT. Ref. 5.

#### 4.4 Cálculo de costos de operación de vehículos.

Para cálculo de costos de operación se recurrió al modelo de costos de operación vehicular VOC (Ref. 7). El cuadro 4.8 muestra los datos de entrada para cada tipo de vehículo.

"Debe mencionarse que los costos no incluyen impuestos (I.V.A., Impuesto sobre la Adquisición de Automóviles Nuevos (ISAN), etc.),

**Cuadro 4.8 Datos para calcular los costos de operación de vehículos.**

TIPO DE VEHICULO	UNIDAD	CAMION ARTIC.	CAMION 2 EJES	CAMION LIGERO	AUTOBUS FORANEO	VEHICULO LIGERO
Características del vehículo (1)		1	2	3	4	5
Peso del vehículo	Kg	15,060	6,000	1,851	11,340	1,300
Carga transportada	Kg	39,485	6,928	3,149	2,000	700
Potencia máxima de operación	HP métrico	249	106	58	235	42
Potencia máxima de frenado	HP métrico	764	181	70	219	32
Velocidad deseada	km/h	100	90	100	115	110
Coef. aerodinámico de arrastre	adimensional	0.63	0.85	0.70	0.65	0.46
Area frontal proyectada	m <sup>2</sup>	8.64	5.70	3.64	9.00	2.72
Velocidad calibrada del motor	RPM	1,600	1,800	3,300	2,100	3,600
Factor de eficiencia energética	adimensional	0.90	1.00	0.95	0.95	0.95
Factor de ajuste de combustible	adimensional	1.15	1.15	1.15	1.15	1.16
Características de los neumáticos						
Número de llantas por vehículo	#	22	6	6	6	4
Vol. de hule utilizable por llanta	dm <sup>3</sup>	8.39	7.60	4.30	6.85	0.00
Costo de renov./costo de llanta nueva	fracción	0.30	0.30	0.38	0.34	0.30
Máximo número de renovaciones	adimensional	3.57	3.39	0.93	2.39	0.00
Término const. del modelo de desg.	dm <sup>3</sup> /m	0.16	0.18	0.16	0.16	0.00
Coefficiente de desgaste (10E-3)	dm <sup>3</sup> /kj	12.78	12.78	12.78	12.78	0.00
Datos sobre la utilización del vehículo						
Núm. de km cond./año (10E+3)	km	120	100	30	170	16
Núm. de hora conducidas por año	horas	2,300	2,100	2,000	2,400	1,000
Índice de utilización horaria	fracción	0.85	0.85	0.85	0.80	0.60
Vida útil promedio de servicio	años	10	10	8	8	6
¿Usar vida constante? Código:	1-S/0-N	1	1	1	1	1
Edad del vehículo en km. (10E+3)	km	600	600	120	680	60
Número de pasajeros por vehículo	#	0	0	0	23	2
Costos unitarios en miles de pesos de 1990						
Precios del vehículo nuevo (10E+3)	\$	240	85	35	282	31
Costos del combustible	\$/litro	0.58	0.58	0.71	0.58	0.71
Costo de los lubricantes	\$/litro	4.35	4.35	4.17	4.35	4.17
Costo por llanta nueva	\$/llanta	960	960	270	964	174
Tiempo de los operarios	\$/hora	10	10	5	12	4
Tiempo de los pasajeros	\$/hora	0	0	0	0	0
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	3.75	3.75	3.75	4.50	3.75
Retención de la carga	\$/hora	0	0	0	0	0
Tasa de interés anual real	%	10	10	10	10	10
Cost. indirectos/vehículo-km	\$	0.20	0.10	0.30	0.13	0.02

Nota (1) Tipos de vehículos:

- 1 Camión articulado. DINA 861 MOTOR CUMMINS NTC 350 (1990)  
Con un semirremolque de tres ejes y caja de 40 pies.
- 2 Camión mediano (dos ejes). DINA S-551 MOTOR PERKINS T6 3544 TH (1990)  
Con carrocería de redillas de 22 pies.
- 3 Camión liviano gasolina. FORD F-350 MODELO 1990  
Con carrocería de redillas.
- 4 Autobús. MASA INTEGRAL FORANEO PARA 2A CLASE. MODELO 2030-F  
MOTOR DIESEL 6V92TA, 1990.
- 5 Vehículo ligero (utilitario o automóvil). PANEL VOLKSWAGEN MODELO 1990,  
Con motor de 75 HP (SAE neto).

Fuente: Elementos de Proyecto y Costos de Operación en Carreteras (Ref. 2).

debido a que su pago es considerado como una transferencia de dinero entre las diferentes personas que forman la cadena comercial, que no representa una pérdida de valor para la nación. El producto final de las transferencias conforma los ingresos fiscales del Estado y sigue siendo riqueza nacional. Por ejemplo, en la compraventa de una llanta hay transferencia de dinero de una persona a otra, pero la riqueza nacional permanece. Si la llanta se consume por el uso, el país perdió una llanta; el costo de este consumo es el que realmente interesa a un proyectista de carreteras, debido a la naturaleza del servicio nacional que prestan estas estructuras. Para los combustibles, derivados de un recurso cuyos precios se fijan en el ámbito internacional, debería tomarse, teóricamente, un precio internacional libre de impuestos; sin embargo, se considera que es razonablemente aproximado tomar el precio con que se expende al público en México" (Ref. 2).

El cuadro 4.9 resume los costos de operación de cada tipo de vehículo por kilómetro para distintas pendientes medias del camino (PMC) y curvaturas asociadas.

**Cuadro 4.9 Costos de operación de vehículos (COV).**

PMC (%)	C (°/Km.)	COSTOS DE OPERACION/VEHICULO-KILOMETRO				
		Camión Artic.	Camión 2 ejes	Camión Ligero	Autobús	Vehículo Utilit.
8	900	6,794	2,172	1,104	2,801	646
7	800	5,916	1,916	1,001	2,493	622
6	600	5,113	1,677	898	2,203	592
5	500	4,407	1,473	813	1,962	572
4	400	3,786	1,298	739	1,757	552
3	200	3,184	1,134	656	1,562	525
2	100	2,721	1,029	608	1,466	513
1	50	2,481	979	586	1,427	508

Notas: PMC Pendiente media del camino.  
C Curvatura horizontal promedio.  
Precios referidos a 1990.

Los costos de operación se obtienen tomando en cuenta la geometría del camino y las características de los vehículos, aunque existen otras variables y consideraciones, principalmente el estado superficial, que influyen en los costos de operación pero que no dependen directamente de la geometría del camino. Dentro de las consideraciones del estado superficial se consideró, a lo largo del análisis, un estado regular representado por un índice internacional de rugosidad (IIR) de 4 m/Km. Algunas equivalencias de este índice con otras escalas se presentan en trabajos del Instituto Mexicano del Transporte (Ref. 8).

Para facilitar el proceso de cálculo de costos de construcción, de operación de vehículos y el costo total, se ha realizado un programa de computadora, mostrado en el anexo B.

La combinación de los valores de pendiente media del terreno natural, pendiente media del camino y curvatura horizontal asociada, tránsito diario promedio anual inicial, composición vehicular y tasa de crecimiento media anual del tránsito presentados en este capítulo, definen los casos cuyo análisis se trata en los capítulos siguientes, considerando los costos de construcción y de operación vehicular expuestos.

## **5. Evaluación económica.**

El presente capítulo muestra el proceso de evaluación de las diferentes alternativas, tanto de construcción como de tránsito. También se analizan las variables que influyen en las recomendaciones de la pendiente gobernadora.

Para la generación de alternativas de construcción y de tránsito se tomaron las siguientes consideraciones generales:

- a).- El análisis se realiza para las carreteras pavimentadas del tipo D, C, B, A2 y A4.
- b).- Las alternativas de construcción o casos analizados dependen de la pendiente media del terreno natural (PMTN), que se varió desde 8% hasta 2% y de la pendiente media del camino (PMC), que se hizo variar desde 1% hasta alcanzar la pendiente media del terreno natural.
- c).- No se propone ninguna pendiente de referencia mayor que la gobernadora que recomiendan las normas en cualquier tipo de carretera y terreno, tomando en cuenta que en su definición debieron concurrir factores de seguridad, capacidad y características de los vehículos.
- d).- Se considera a la pendiente gobernadora como la pendiente media del camino, la cual puede ser reemplazada por una pendiente de referencia del camino, que conduzca a costos totales también menores.
- e).- Los costos totales se calculan para cada caso analizado, buscando identificar aquél que conduzca al costo total actualizado mínimo.
- f).- El periodo de análisis es de 21 años, de los cuales el primer año se considera para la construcción de la carretera y los siguientes 20 años son de operación.

### **5.1 Criterio de costo total mínimo.**

El costo total se compone del costo de construcción y del de operación de los vehículos.

El costo de construcción se obtiene con base en la pendiente media del terreno natural (apartado 4.1.1), la pendiente media del camino (apartado 4.1.2), el ancho de corona de cada tipo de carretera y los precios unitarios respectivos (apartado 4.1.4), .

Los costos de operación anual se obtienen tomando en cuenta la pendiente media del camino (apartado 4.1.2), el tránsito (apartado 4.3), el porcentaje de vehículos pesados (apartado 4.3.1), los tipos de

vehículo equivalentes (apartado 4.3.2) y la tasa de crecimiento media anual del tránsito (apartado 4.3.3).

Los costos anuales se actualizan al año 1 mediante una tasa anual de actualización. Las tasas de actualización utilizadas en el análisis son 8%, 10% y 12% anual.

El costo (construcción u operación) anual actualizado se obtiene aplicando la siguiente expresión:

$$CA_i = \frac{\text{Costos}_i}{(1 + TAA/100)^{(i-1)}}$$

Donde:

$i$  = cualquier año que se encuentre dentro del período de análisis

TAA = tasa anual de actualización, en %

$\text{Costos}_i$  = costos (construcción u operación) constantes del año  $i$

$CA_i$  = costo actualizado del año  $i$

El costo total actualizado es la suma de todos los costos anuales (construcción y operación) actualizados para todo el periodo de análisis.

Los costos totales se calculan con la siguiente expresión:

$$CTA = \sum_{i=1}^n (\text{CCONSTA}_i + \text{COVA}_i)$$

Donde:

$n$  = período de análisis

$\text{CCONSTA}_i$  = costos de construcción actualizados del año  $i$

$\text{COVA}_i$  = costos de operación de vehículos actualizados del año  $i$

CTA = costo total actualizado durante el período de análisis

El costo total se obtiene para un tipo de carretera, una pendiente media del terreno natural (PMTN) y diferentes pendientes de referencia del camino (PRC), un tránsito diario promedio anual al inicio de la operación (TDPAi) con una composición de vehículos pesados (COMP), una tasa de crecimiento media anual del tránsito (TCMA) y una tasa anual de

actualización (TAA) y se selecciona la pendiente de referencia del camino que minimice el costo total.

Dentro del documento se utiliza a la pendiente de referencia del camino como equivalente a la pendiente media del camino y se utilizará para comparar la pendiente gobernadora vigente contra la pendiente de referencia de costo total mínimo.

La figura 5.1.A presenta los costos totales calculados para una carretera tipo A2, con un tránsito inicial de 2,000 veh/día, tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 4%, 35 % de vehículos pesados, tasa anual de actualización de 10% y distintas pendientes de referencia del camino (1 a 4%), cuando la pendiente media del terreno natural es del 5%.

Se observa que los costos de construcción se van incrementando mientras se reduce la pendiente de referencia del camino, o sea, a medida que ambas pendientes difieren más entre sí. Por otro lado, los costos de operación de vehicular, van decreciendo cuando la pendiente de referencia disminuye. La suma de estos costos define el costo total y existe una pendiente de referencia para la cual el costo total es mínimo. La pendiente asociada al costo total mínimo puede llevar a que la carretera se proyecte con un mayor costo inicial de construcción, en comparación con el que resultaría de aplicar las normas actuales como sucede en el caso de carreteras tipo A2, para las cuales las normas recomiendan regir el proyecto geométrico con pendientes gobernadoras de 4 y 3%, para terrenos naturales montañoso y de lomerío, respectivamente.

La figura 5.1.B considera el mismo tipo de carretera de la figura anterior y muestra el desplazamiento de la pendiente de costo total mínimo, para tránsitos con distintos porcentajes de vehículos pesados. A mayor número de vehículos pesados, la pendiente de referencia o nueva pendiente gobernadora recomendable es menor.

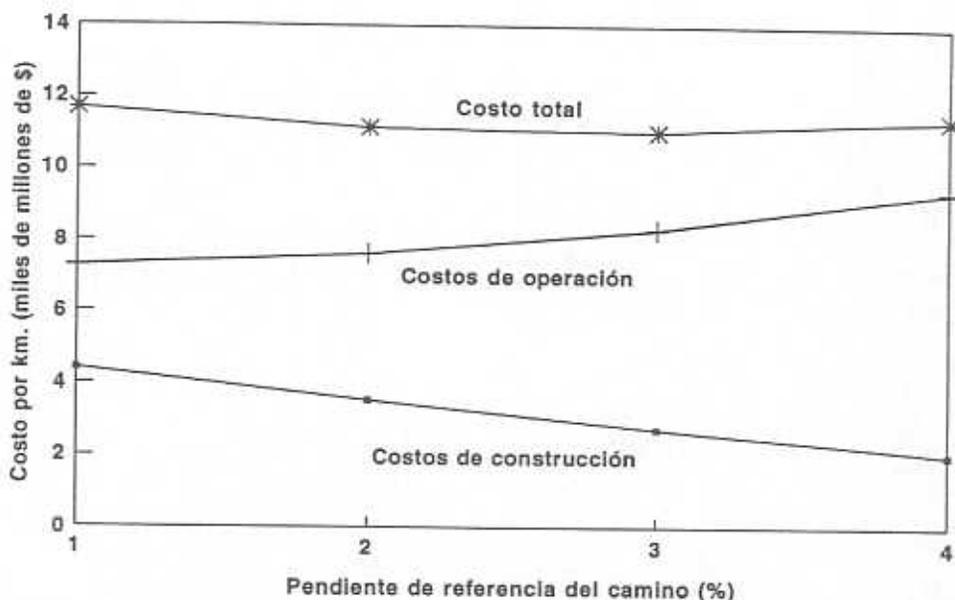
## **5.2 Análisis de la pendiente de referencia del camino de costo total mínimo.**

La selección de la pendiente de costo total mínimo está sujeta a las variaciones posibles del tipo de carretera, la pendiente media del terreno natural y la pendiente de referencia del camino y por parte el tránsito inicial (TDPAi), el porcentaje de vehículos pesados, la tasa de crecimiento media anual del tránsito y también la tasa anual de actualización.

### **5.2.1 Análisis del tránsito.**

La figura 5.2 muestra los costos totales para una carretera tipo A2. Se ha considerado una pendiente media del terreno natural de 6%, diferentes tránsitos iniciales, un porcentaje de vehículos pesados de

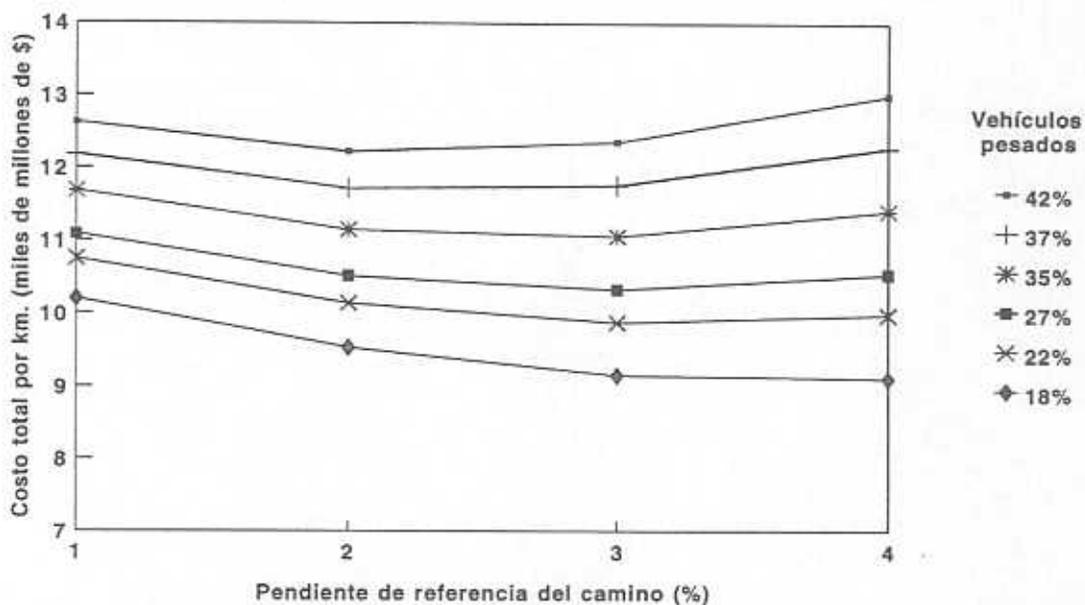
Figura 5.1.A. Costo total actualizado de las pendientes de referencia para una carretera tipo A2  
Pendiente media del terreno natural = 5%



Tránsito: inicial = 2,000 veh/día; final = 4,200 veh/día  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%  
Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 3,000-5,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

Figura 5.1.B. Costo total actualizado de las pendientes de referencia frente al porcentaje de vehículos pesados para una carretera tipo A2  
Pendiente media del terreno natural = 5%



Tránsito: inicial = 2,000 veh/día; final = 4,200 veh/día  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%  
Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 3,000-5,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

35%, una tasa de crecimiento media anual del tránsito de 4% y una tasa de actualización de 10% anual. Para las consideraciones anteriores se cumple que para un tránsito inicial mayor que 1,500 veh/día, la pendiente de referencia de 3% minimiza el costo total; para un tránsito inicial entre 1,400 y 1,500 veh/día, la pendiente de referencia del camino de costo mínimo es de 4%. Obviamente, con una pendiente de 3% se incurre en un mayor costo de construcción, pero el costo total es el mínimo durante el horizonte de proyecto.

### **5.2.2 Análisis del porcentaje de vehículos pesados.**

La figura 5.3 trata del mismo tipo de carretera, pendiente del terreno, tasa de crecimiento anual del tránsito y la misma tasa anual de actualización considerados en la figura 5.2, pero la figura 5.3 muestra el análisis del costo total frente a la variación del porcentaje de vehículos pesados para un tránsito inicial de 1,500 veh/día. La pendiente de referencia que minimiza el costo total es 4% para un porcentaje de vehículos pesados menor que 35% y cuando el porcentaje es igual o mayor que 35%, la pendiente de costo total mínimo es 3%.

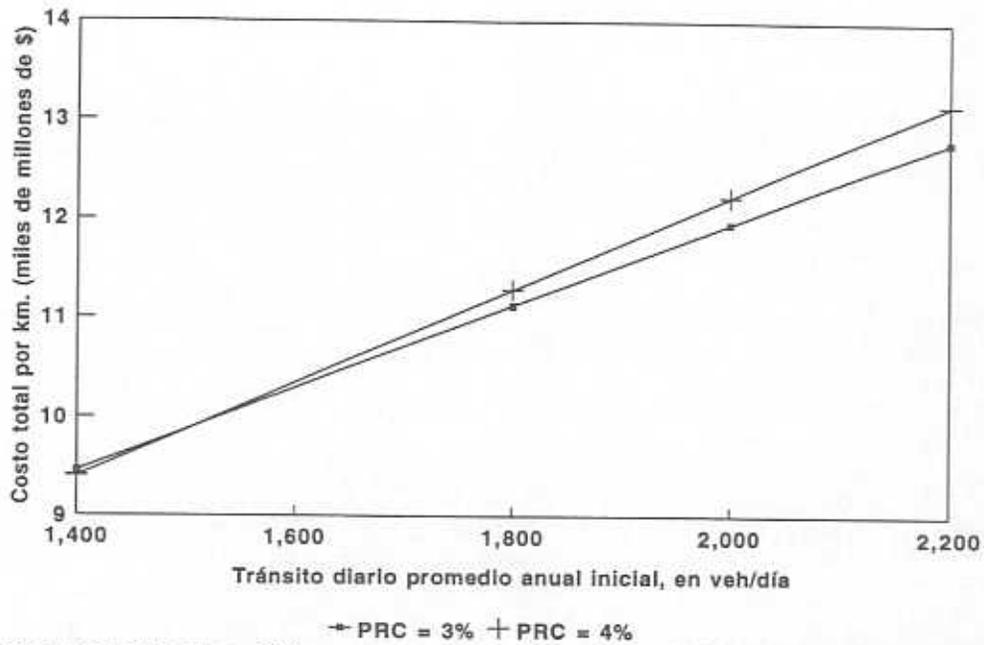
Lo anterior demuestra que la selección de la pendiente de referencia de costo total mínimo del camino está influenciada por el porcentaje de vehículos pesados en el tránsito.

### **5.2.3 Análisis de la tasa de crecimiento media anual del tránsito y de la tasa de actualización.**

En la figura 5.4 se grafica el costo total para el mismo tipo de carretera y pendiente media del terreno natural que se han estado analizando, contra la tasa de crecimiento media anual del tránsito (4 y 7%), considerando un tránsito inicial de 1,500 veh/día, 35% de vehículos pesados en el tránsito y una tasa anual de actualización de 10%. La pendiente de referencia del camino que minimiza el costo total es 4% para una tasa de crecimiento anual del tránsito menor ó igual que 4%; en cambio, si se presenta una tasa de crecimiento mayor que 4% anual, por ejemplo 7%, el costo total mínimo corresponde a una pendiente de referencia de 3%.

La figura 5.5 presenta la variación de la tasa anual de actualización (TAA), considerando el mismo tipo de carretera, pendiente media del terreno natural, un tránsito inicial de 1,500 veh/día, 35% de vehículos pesados y una tasa de crecimiento del tránsito de 4% anual. En ella se observa que cuando la tasa de actualización es de 12%, la pendiente de referencia que minimiza el costo total es 4%, pero si se considera una tasa de actualización de 10% existe un punto de intersección entre las pendientes de referencia de 4 y 3%, lo que significa que existe una indiferencia en considerar cualquier pendiente, ya que ambas minimizan

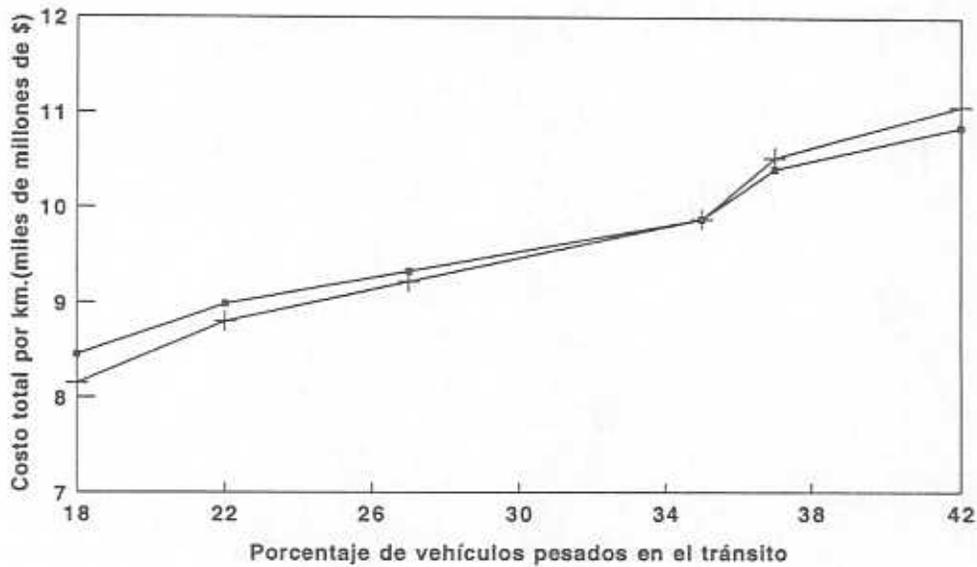
Figura 5.2 Costo total actualizado frente al tránsito inicial en una carretera tipo A2  
Porcentaje de vehículos pesados = 35%



Pendiente de referencia del camino = PRC  
Pendiente media del terreno natural = 6%  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%  
Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 3,000-5,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

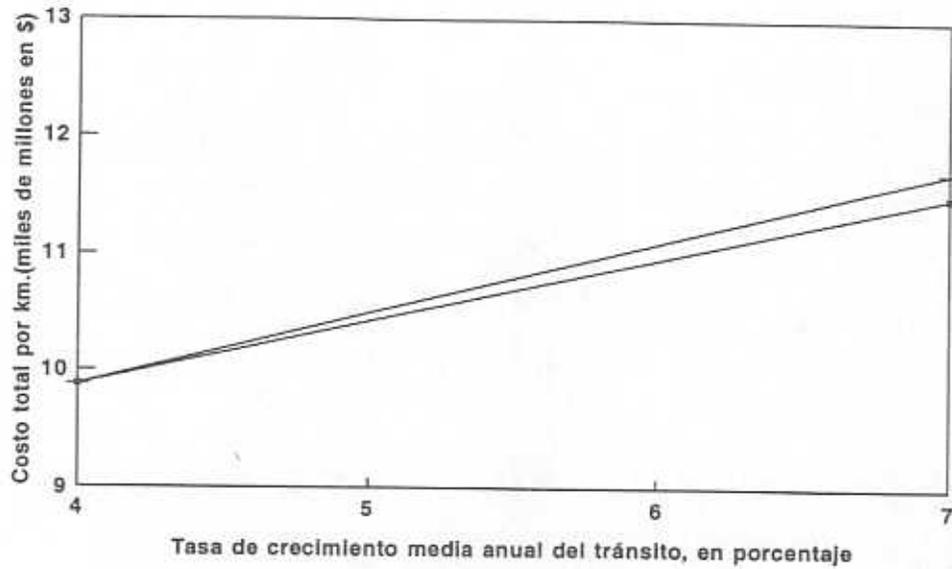
Figura 5.3 Costo total actualizado frente al porcentaje de vehículos pesados para una carretera tipo A2  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%



Tránsito: Inicial = 1,500 veh/día; final = 3,160 veh/día  
Pendiente de referencia del camino = PRC  
Pendiente media del terreno natural = 6%  
Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 3,000-5,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

Figura 5.4 Costo total actualizado frente a la tasa de crecimiento del tránsito para una carretera tipo A2  
Tasa anual de actualización = 10%

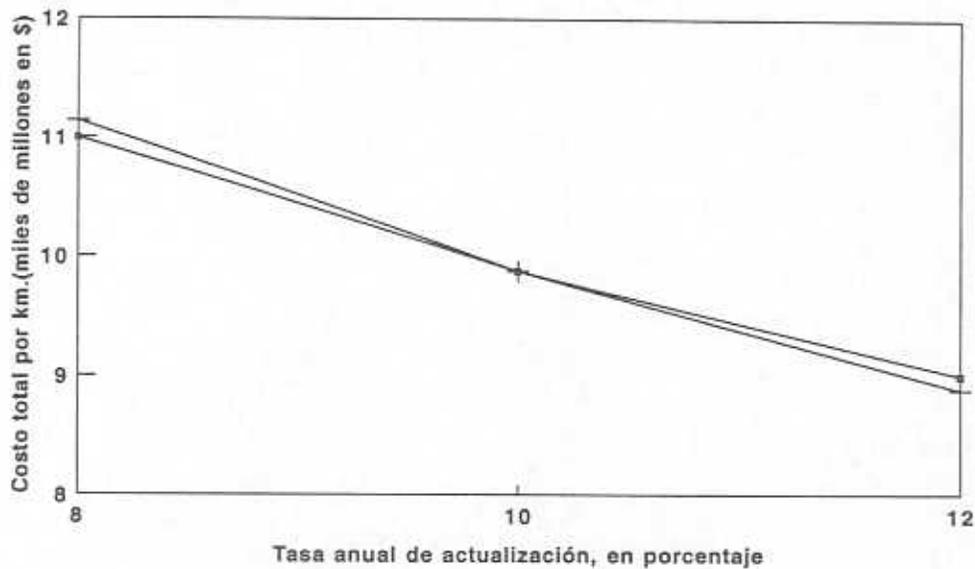


→ PRC = 3% + PRC = 4%

Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tránsito: inicial = 1,500 veh/día  
Porcentaje de vehículos pesados = 35%  
Pendiente media del terreno natural = 6%

Tránsito de proyecto: 3,000-5,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

Figura 5.5 Costo total actualizado frente a la tasa anual de actualización para una carretera tipo A2  
Pendiente media del terreno natural = 6%



→ PRC = 3% + PRC = 4%

Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tránsito: inicial = 1,500 veh/día; final = 3,160 veh/día  
Porcentaje de vehículos pesados en el tránsito = 35%  
Tasa de crecimiento anual del tránsito = 4%

Tránsito de proyecto: 3,000-5,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

el costo total; sin embargo, si se considera una tasa de actualización de 8%, la pendiente de referencia de costo total mínimo es 3%.

De los análisis anteriores se deduce que la pendiente media del terreno natural (PMTN), el tránsito (TDPA), el porcentaje de vehículos pesados (COMP), la tasa de crecimiento media anual (TCMA) y la tasa anual de actualización (TAA) son las variables que modifican la pendiente de referencia de costo total mínimo y, por tanto, es necesario hacer las recomendaciones tomando en cuenta estas variables.

## **6. Presentación de resultados.**

El anexo A resume todos los casos analizados, presentando las pendientes de referencia de costo total mínimo para cada combinación pendientes medias del terreno, pendientes de referencia del camino, tránsitos diarios promedio anual inicial, porcentajes de vehículos pesados, tasas de crecimiento anual del tránsito y tasas anuales de actualización. El Anexo B presenta el programa de cómputo utilizado para calcular los costos de construcción, de operación de los vehículos y el costo total para los diferentes tipos de carreteras estudiadas, en función de las variables mencionadas.

A continuación se ejemplifica el análisis realizado para todos y cada uno de los casos estudiados, a partir de los casos más ilustrativos de cada tipo de carretera. Las figuras que se presentan muestran áreas delimitadas por curvas. Cada área corresponde a la pendiente de referencia que minimiza el costo total, para los rangos de valores que toman las variables que definen dichas áreas y para los datos del caso, que aparecen en el lado izquierdo al pie de la gráfica. En el lado derecho del pie de la gráfica se muestra, para cada figura, las características, según las normas, del tipo de carretera al que se refiere el caso, con el objeto de comparar los datos y resultados del caso presentado, con lo que dichas normas señalan.

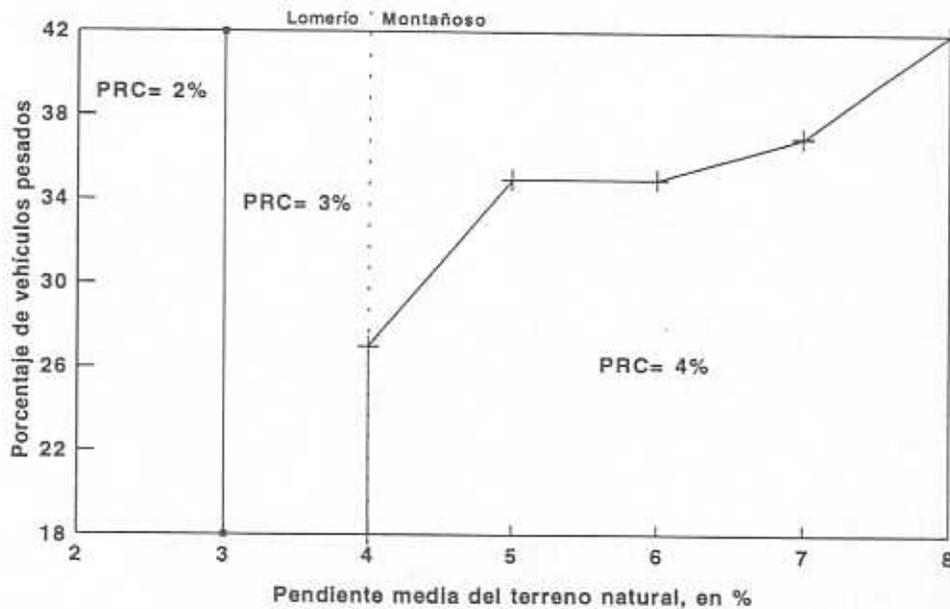
Cabe recordar, como se señaló en el apartado 3.1, que en este trabajo se considera al terreno natural como plano, cuando su pendiente media es menor que 1%; como de lomerío, cuando la pendiente media es menor que 4% y como montañoso, cuando su pendiente media es mayor que 4%. Las fronteras correspondientes al tipo de terreno natural, según esta definición, se indica también en algunas figuras, con una línea punteada.

### **a) Carreteras tipo A4.**

1.- La figura 6.1 muestra los resultados del análisis para una carretera tipo A4. Para ésta, las normas recomiendan un rango de tránsito de proyecto de 5,000 a 20,000 veh/día, una pendiente gobernadora de 4% en terreno montañoso y 3% en terreno de lomerío y un ancho de corona de 22 metros.

Se observa en la figura que, dada una pendiente media del terreno natural y un porcentaje de vehículos pesados, se obtiene una pendiente de referencia del camino (PRC) que conduce al costo total mínimo. La pendiente gobernadora de 4% en terreno montañoso es recomendable sólo cuando la pendiente media del terreno natural es igual o mayor que 4% y el porcentaje de vehículos pesados varía de 18 a 42%, siguiendo los límites superiores que marcan la región correspondiente en la figura.

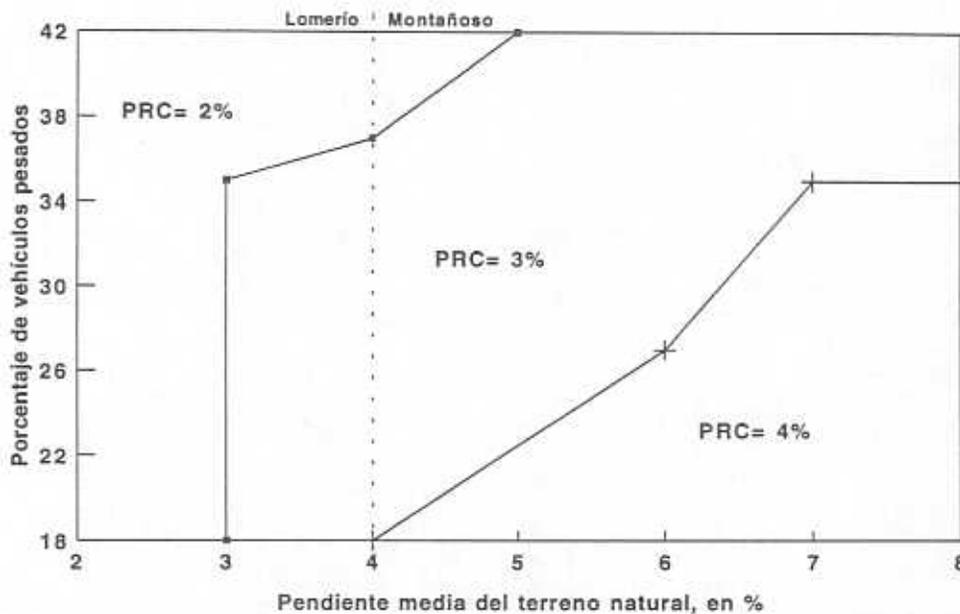
Figura 6.1 Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A4  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%



Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tránsito: inicial = 5,000 veh/día; final 10,500 veh/día  
Tasa de anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 5,000-20,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso)= 4%  
Pendientes gobernadora (lomerío)= 3%

Figura 6.1.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A4  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%



Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tránsito: inicial = 5,000 veh/día; final = 18,000 veh/día  
Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 5,000-20,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso)= 4%  
Pendiente gobernadora (lomerío)= 3%

2.- La figura 6.1.A considera el mismo tipo de carretera, pero utilizando una tasa de crecimiento media anual del tránsito de 7% en vez del 4% utilizado en la figura 6.1. La pendiente de 4% se recomienda ahora en pendientes medias del terreno natural mayores que 4% y con un porcentaje de vehículos pesados menor que 37%; la pendiente de 3% se recomienda para las combinaciones que se encuentran dentro del área intermedia.

3.- Siguiendo con el mismo tipo de carretera, la figura-6.1.B-muestra la variación de la pendiente de referencia de costo total mínimo cuando los costos totales del caso de la figura 6.1 se actualizan con una tasa del 12% anual en lugar de una de 10%. Se observa que la pendiente gobernadora de 4% recomendada por las normas para camino montañoso es conveniente para un rango mayor de porcentaje de vehículos pesados que cuando se usa la de 10%; la pendiente de 3% en zona montañosa se recomienda sólo en caso de pendientes del terreno menores que 6% y con un alto porcentaje de vehículos pesados.

4.- En el caso de la figura 6.2 se muestra el efecto del tránsito para una pendiente de 5% del terreno natural considerando, además, una tasa de crecimiento media anual del tránsito de 4% y una tasa de actualización de 10%.

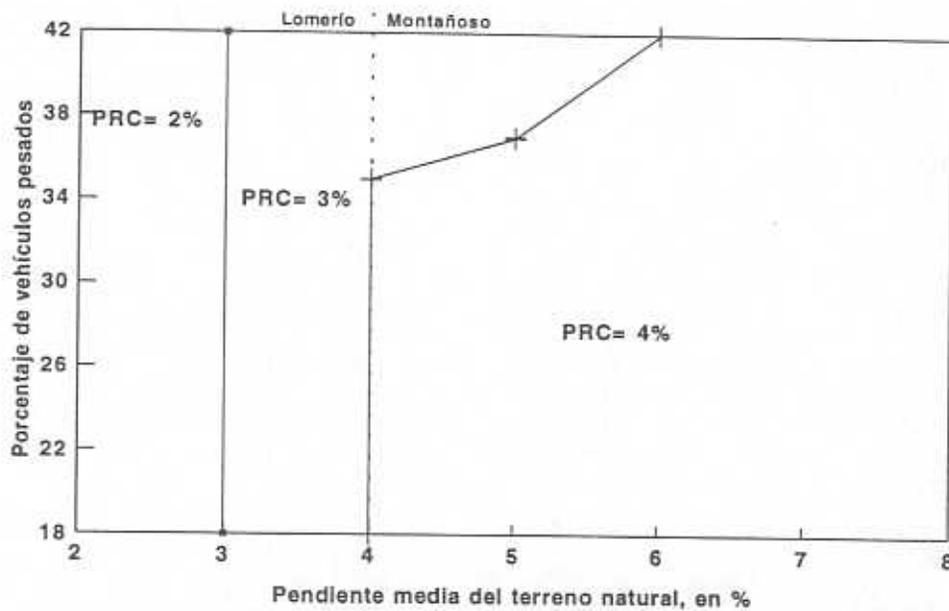
Nuevamente, en cada área delimitada por las líneas quebradas se señala la pendiente de costo total mínimo. La pendiente de 4% se recomienda para tránsitos menores que 15,000 veh/día y composiciones entre 18 y 42%, siguiendo el límite correspondiente que marca la curva. En todas las combinaciones de tránsito y porcentaje de vehículos pesados dentro del área intermedia, se recomienda una pendiente de 3%. Aún para una pendiente media del terreno natural es posible recomendar 2% como pendiente de referencia para tránsitos y composiciones altas, que se encuentran en el área superior de la figura.

5.- La figura 6.2.A presenta el análisis del caso anterior modificado únicamente por la consideración de una tasa de crecimiento media anual del tránsito de 7%. Adjuntos a los tránsitos iniciales se encuentran los tránsitos finales, que en algunos casos superan los límites superiores especificados por las normas para este tipo de carretera. Se observa que existe un desplazamiento hacia abajo de los límites que definen las áreas de las pendientes de costo total mínimo respecto de la figura anterior, recomendándose para un conjunto mayor de combinaciones de tránsito y porcentaje de vehículos pesados, las pendientes de 3% y 2%.

#### **b) Carreteras tipo A2.**

1.- La figura 6.3 condensa los resultados del análisis de una carretera tipo A2. Las normas recomiendan un rango de tránsito de 3,000 a 5,000 veh/día en el horizonte de proyecto, una pendiente gobernadora en terreno montañoso de 4% y en lomerío de 3% y un ancho de corona de 12 metros. Para distintos valores de la pendiente media del terreno

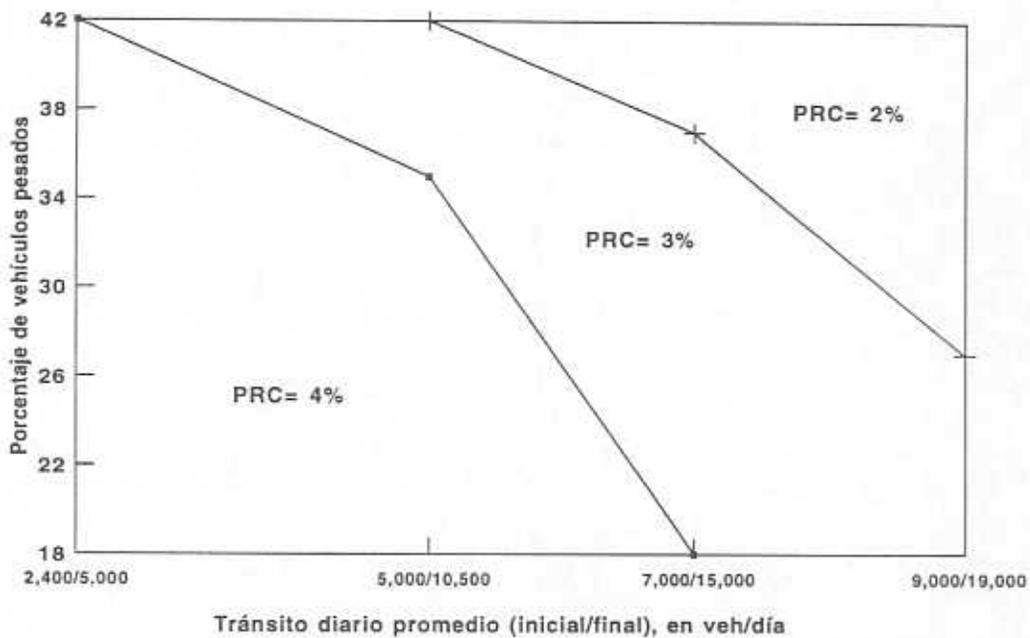
Figura 6.1.B Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A4  
Tasa anual de actualización = 12%



Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tránsito: inicial = 5,000 veh/día; final = 10,500 veh/día  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%

Tránsito de proyecto: 5,000-20,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

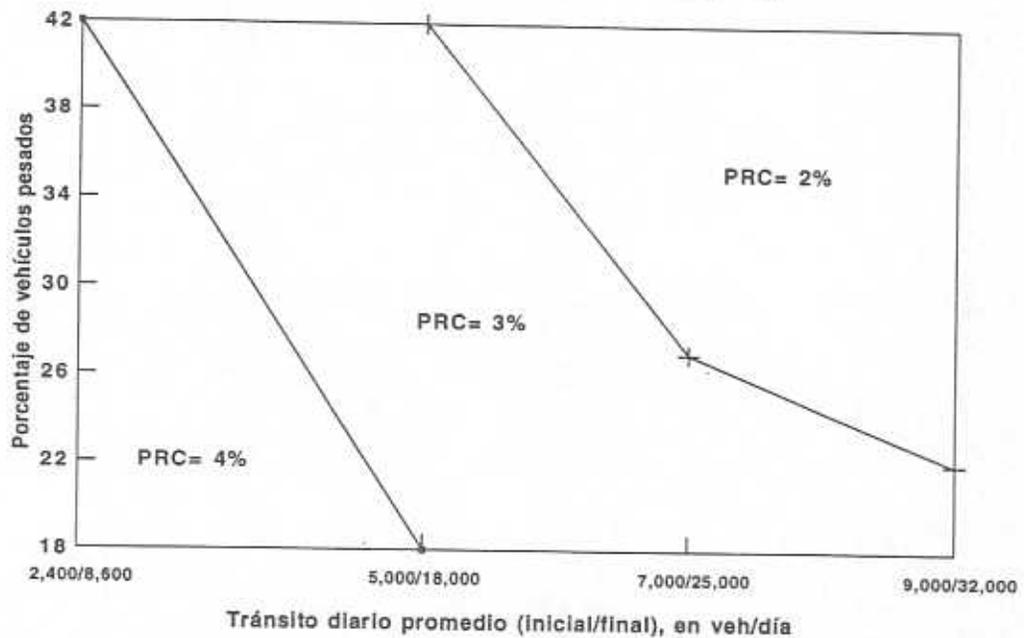
Figura 6.2 Pendientes de referencia recomendables para diferentes volúmenes de tránsito y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A4  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%



Pendiente media del terreno natural = 5%  
Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 5,000-20,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

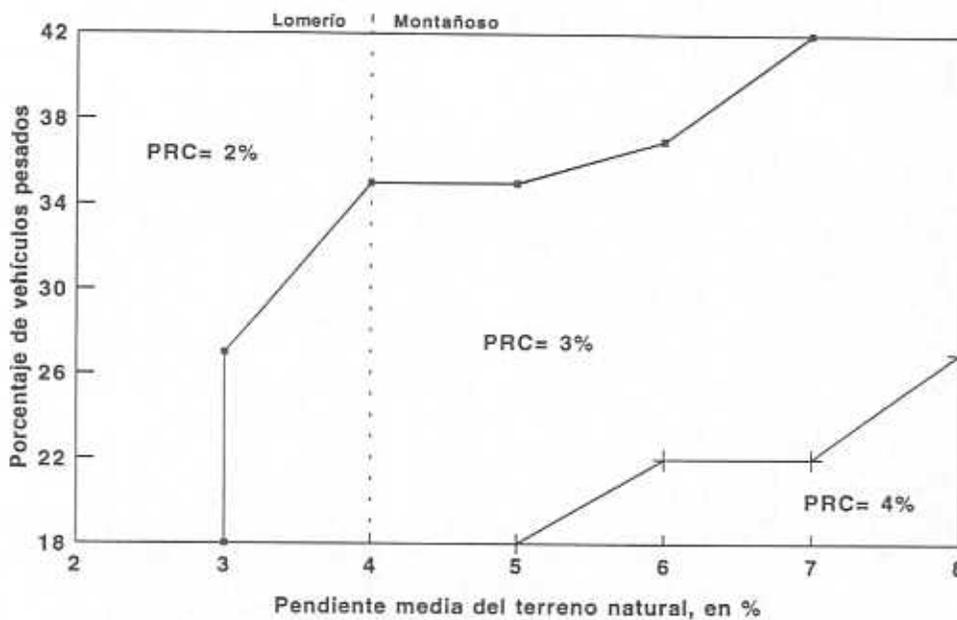
**Figura 6.2.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes volúmenes de tránsito y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A4**  
 Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%



Pendiente media del terreno natural = 5%  
 Pendiente de referencia del camino = PRC  
 Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 5,000-20,000 veh/día  
 Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
 Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

**Figura 6.3 Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentaje de vehículos pesados en carreteras tipo A2**  
 Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%



Pendiente de referencia del camino = PRC  
 Tránsito: inicial = 2,000 veh/día; final 4,200 veh/día  
 Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 3,000-5,000 veh/día  
 Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
 Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

natural, se propone un tránsito inicial de 2,000 veh/día que anualmente se incrementa un 4%, con lo que el tránsito final se encuentra dentro del rango de proyecto. El análisis consiste en determinar las pendientes de referencia del camino asociadas a los costos totales mínimos.

La figura muestra tres áreas delimitadas por curvas quebradas. En cada área se señala la pendiente de referencia que minimiza el costo total para los rangos de porcentaje de vehículos pesados y pendientes medias del terreno natural que las limitan.

Los resultados muestran, por ejemplo, que las recomendaciones de las normas, para el uso de la pendiente gobernadora de 4% en zonas montañosas, se conserva vigente cuando la pendiente media del terreno natural se encuentra entre 5 y 8% y el porcentaje de vehículos pesados va del 18% al 27% del tránsito. Si estos porcentajes son superiores al límite que marca la curva inferior para las pendientes del terreno mencionadas, la pendiente media del camino asociada al costo total mínimo es 3%, hasta que los porcentajes de vehículos pesados sean mayores que el límite que marca la curva superior, para pendientes del terreno natural entre 5 y 7%. De esta manera, la pendiente gobernadora recomendable para estos rangos sería del 3%, en lugar de 4%.

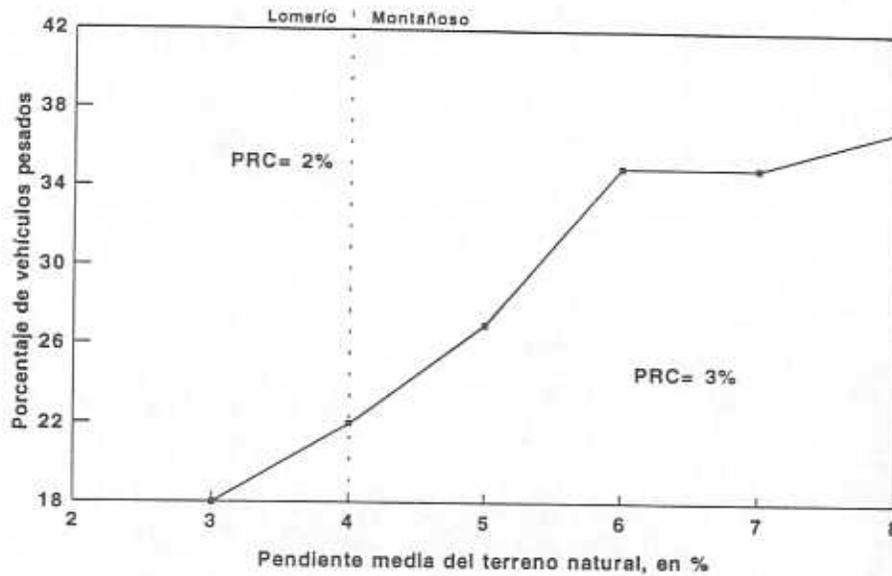
Para condiciones de terreno de lomerío la pendiente gobernadora recomendable por las normas es de 3%, que se cumple para pendientes medias del terreno natural entre 3 y 4%, con porcentajes de vehículos pesados de 18% hasta 35%; la pendiente de referencia de 2% en terreno lomerío es recomendable en casos de pendientes del terreno menores que 3% e incluso para 4%, cuando el porcentaje de vehículos pesados sea mayor que 35%.

Para una carretera tipo A2, en las condiciones antes mencionadas, en general puede recomendarse una pendiente gobernadora de 3% para terreno montañoso y 2% para terreno de lomerío en porcentajes mayores que 22%, aproximadamente, de vehículos pesados.

2.- La figura 6.3.A muestra las mismas características que la figura 6.3, sólo que se ha considerado una tasa de crecimiento media anual del tránsito de 7%, en lugar de 4%.

Se observan solo dos áreas que muestran la pendiente de referencia del camino que minimiza el costo total. La pendiente gobernadora de 4% sugerida por las normas para zona montañoso no sería recomendable para el caso mostrado en la figura. La pendiente de 3% es recomendable para pendientes del terreno mayores o iguales que 4% y desde 18 hasta 37% de vehículos pesados en el tránsito; para composiciones superiores a las definidas por la curva, es recomendable la pendiente de referencia de 2%.

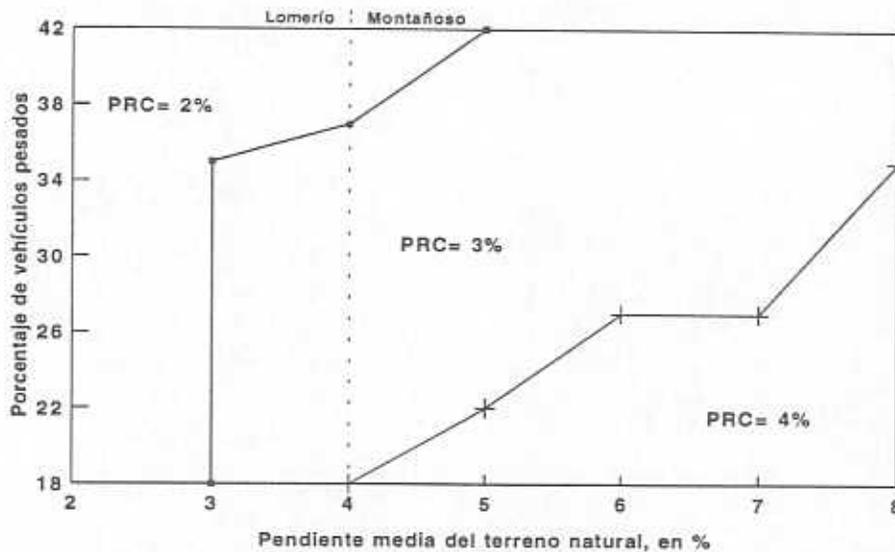
**Figura 6.3.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A2**  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%



Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tránsito: Inicial = 2,000 veh/día; final = 7,200 veh/día  
Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 3,000-5,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

**Figura 6.3.B Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A2**  
Tasa anual de actualización = 12%



Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tránsito: Inicial = 2,000 veh/día; final = 4,200 veh/día  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%

Tránsito de proyecto: 3,000-5,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

Para las condiciones mencionadas de una carretera tipo A2 con una tasa de crecimiento de 7%, es recomendable, en general, una pendiente de 3% en terreno montañoso y 2% en terreno de lomerío.

3.- La figura 6.3.B, también trata del mismo tipo de carretera y tránsito inicial que generaron a la figura 6.3; sólo se ha variado la tasa anual de actualización a 12%.

Si se compara ésta figura con la figura 6.3, se observa la influencia de la tasa anual de actualización en la pendiente de referencia de costo total mínimo. La tasa anual de actualización afecta a los costos de operación de vehículos a razón inversa, por tal razón, los costos de operación son menores cuando se actualizan con una tasa del 12% respecto de utilizar 10% anual y permite que el costo de construcción tenga un mayor peso relativo.

4.- La figura 6.4 muestra las pendientes recomendables para diferentes tránsitos y porcentajes de vehículos pesados en una carretera tipo A2. Representa un corte transversal de la figura 6.3 en el eje de las abscisas con valor de 4 como pendiente media del terreno. Su interés radica en mostrar la variación de la pendiente de referencia de costo total mínimo, cuando el tránsito varía dentro del rango establecido por las normas para carreteras A2 y la pendiente media del terreno natural corresponde a la establecida como frontera entre zona montañoso y de lomerío.

En general, para las consideraciones de la figura sería recomendable una pendiente gobernadora de 3% en terreno montañoso, en lugar del 4% que marcan las normas.

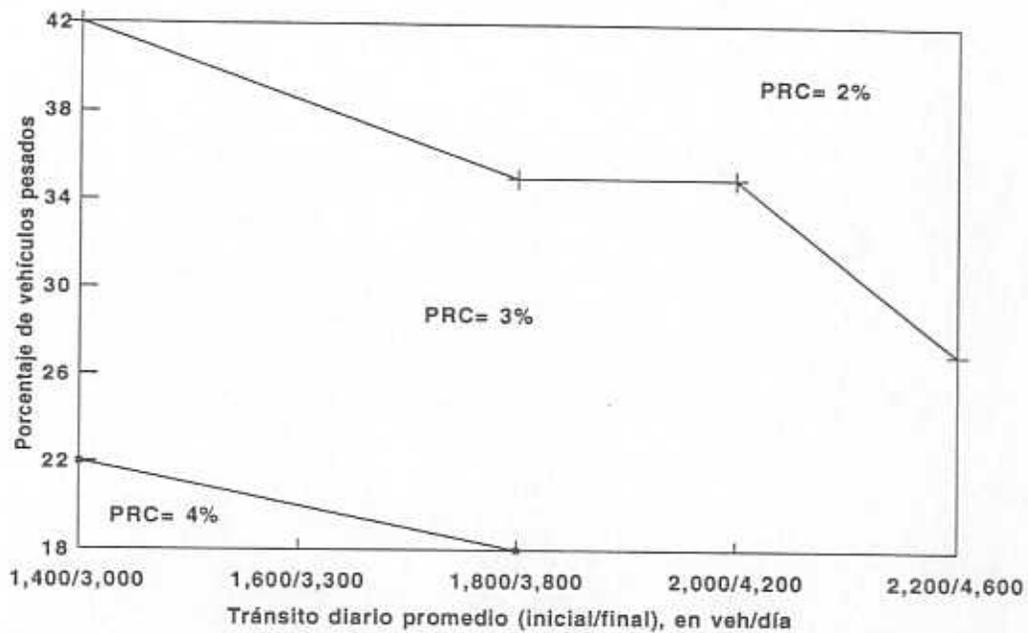
5.- La figura 6.4.A se obtuvo de las mismas consideraciones que la figura anterior (Fig. 6.4), sólo que se ha considerado un tasa de crecimiento del tránsito de 7% anual. En el eje de las abscisas se muestra el tránsito inicial y el final en el horizonte de proyecto; como se observa, mismos tránsitos iniciales que con una tasa de crecimiento de 4% llegaban a tránsitos finales inferiores a límite establecido para carreteras A2, con la tasa de 7% conducen a tránsitos finales muy superiores a dicho límite.

Es claro que con un crecimiento más rápido del tránsito, los menores costos de operación vehicular respecto de una pendiente gobernadora en terreno montañoso, favorecen pendientes de referencia también menores, cuando los costos de construcción permanecen iguales.

### **c) Carreteras tipo B.**

1.- La figura 6.5 resume las pendientes de referencia recomendables para una carretera tipo B en diferentes condiciones de pendientes medias del terreno natural, porcentajes de vehículos pesados, un tránsito inicial de 1,200 veh/día, que anualmente se incrementa 4%, con lo que el tránsito final se encuentra dentro del rango del tránsito de proyecto

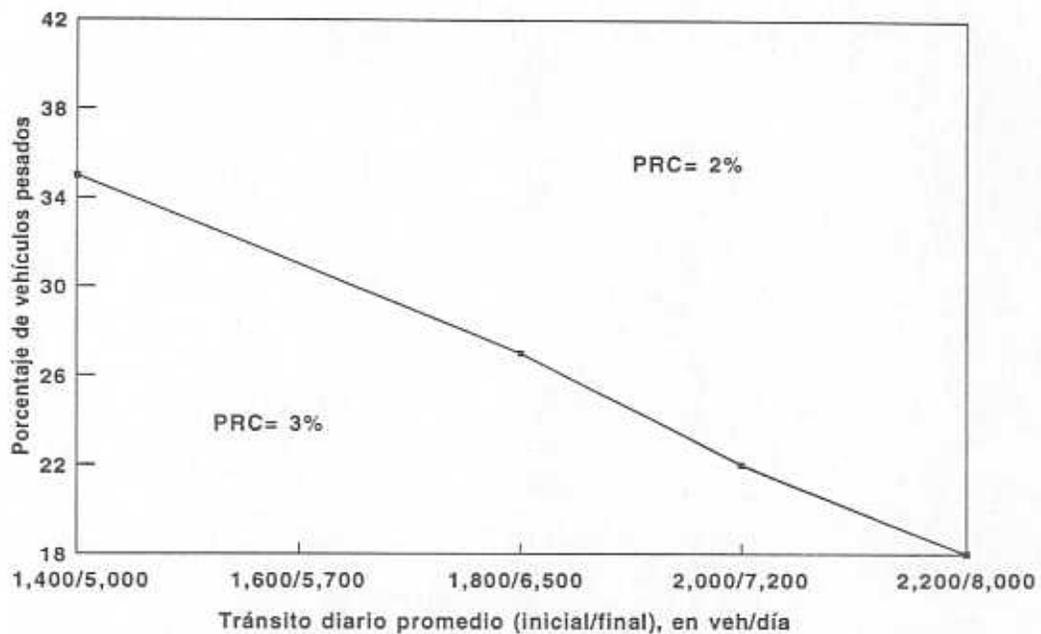
Figura 6.4 Pendientes de referencia recomendables para diferentes volúmenes de tránsito y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A2  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%



Pendiente media del terreno natural = 4%  
Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 3,000-5,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

Figura 6.4.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes volúmenes de tránsito y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo A2  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%



Pendiente media del terreno natural = 4%  
Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 3,000-5,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 4%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 3%

(1,500 a 3,000 veh/día) que marcan las normas para este tipo de camino; se consideró una tasa anual de actualización de 10%.

La pendiente gobernadora que recomiendan las normas para un terreno montañoso es de 5%, que corresponde al costo total mínimo para el área inferior en pendientes medias del terreno natural entre 5 y 8% y un rango de composición entre 18 y 37% de vehículos pesados en el tránsito. Es recomendable una pendiente de referencia del camino de 4%, para éstas pendientes medias del terreno natural, cuando el porcentaje de vehículos pesados es mayor que los límites de la curva inferior y menor que los porcentajes que limitan la curva intermedia; también es recomendable ésta pendiente (4%) para una pendiente media del terreno entre 4 y 5%, con composición de 18 a 27% de vehículos pesados. Se recomienda una pendiente de referencia de 3% en terreno montañoso cuando el porcentaje es mayor que los límites de la curva intermedia.

En terreno de lomerío, la pendiente gobernadora recomendada por las normas es de 4% para caminos tipo B, misma que no minimiza el costo total en ningún caso combinatorio de pendiente media del terreno menor que 4% y composición de 18 hasta 42% de vehículos pesados en el tránsito. La pendiente de 3% es recomendable para pendientes del terreno entre 3 y 4% y un rango de composiciones de 18 a 37% de vehículos pesados. Se puede recomendar 2% como pendiente de referencia para pendientes medias del terreno natural menores que 3%.

2.- La figura 6.5.A muestra el mismo caso de la figura 6.5, sólo que se ha considerado una tasa de crecimiento media del tránsito de 7% anual.

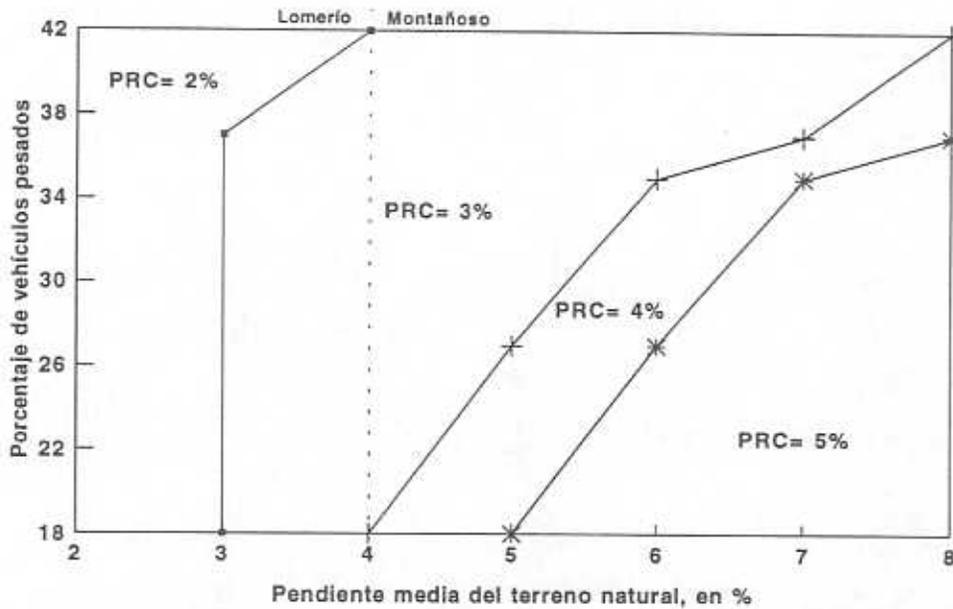
La interpretación de la figura es similar a la anterior. Nuevamente se debe notar que el tránsito final no se encuentra dentro del rango de tránsito de proyecto (1,500 a 3,000 veh/día) que marcan las normas para este tipo de carretera, por lo que en este caso deben proyectarse como de tipo A2, si se prevé la tasa de crecimiento de 7% u otra con el mismo efecto.

3.- La figura 6.5.B se obtuvo de las condiciones que generaron la figura 6.5, variando la tasa anual de actualización a 12% anual. El análisis es similar al que se hizo para una tasa de actualización de 10%.

4.- La figura 6.6 se puede interpretar como un corte transversal de la figura 6.5 en el eje de las pendientes medias del terreno con valor de 5%. La figura muestra las pendientes de referencia recomendables para un camino tipo B en función del tránsito y su porcentaje de vehículos pesados.

Se muestran tres áreas. El área donde se recomienda una pendiente gobernadora de 5% en terreno montañoso para el tránsito inicial desde 1,500 a 3,000 veh/día y porcentajes de vehículos pesados que van desde 42%, para el tránsito menor, hasta 18% para el tránsito más alto.

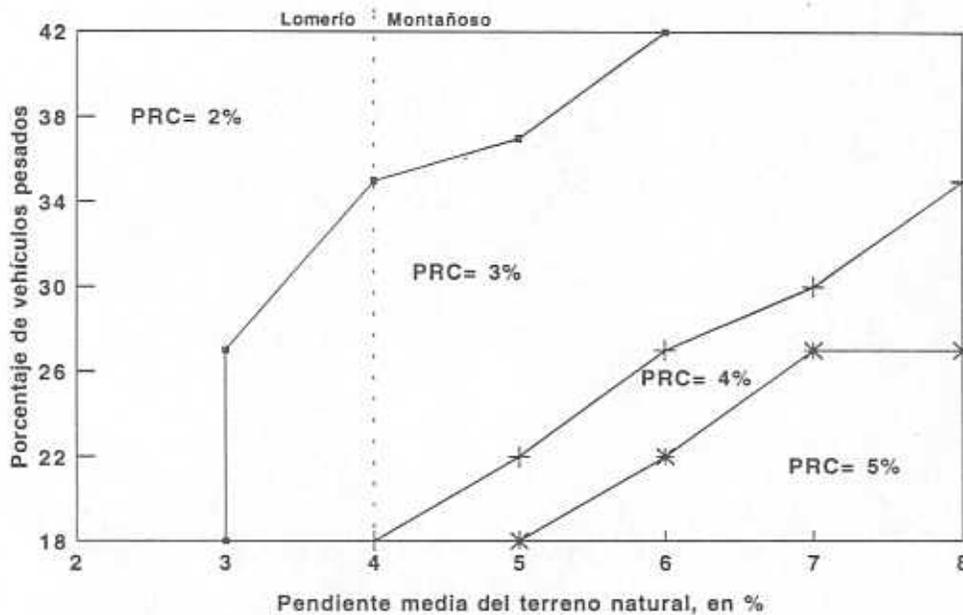
**Figura 6.5 Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo B**  
 Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%



Pendiente de referencia del camino = PRC  
 Tránsito: Inicial = 1,200 veh/día; final 2,500 veh/día  
 Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 1,500-3,000 veh/día  
 Pendiente gobernadora (montañoso) = 5%  
 Pendiente gobernadora (lomerío) = 4%

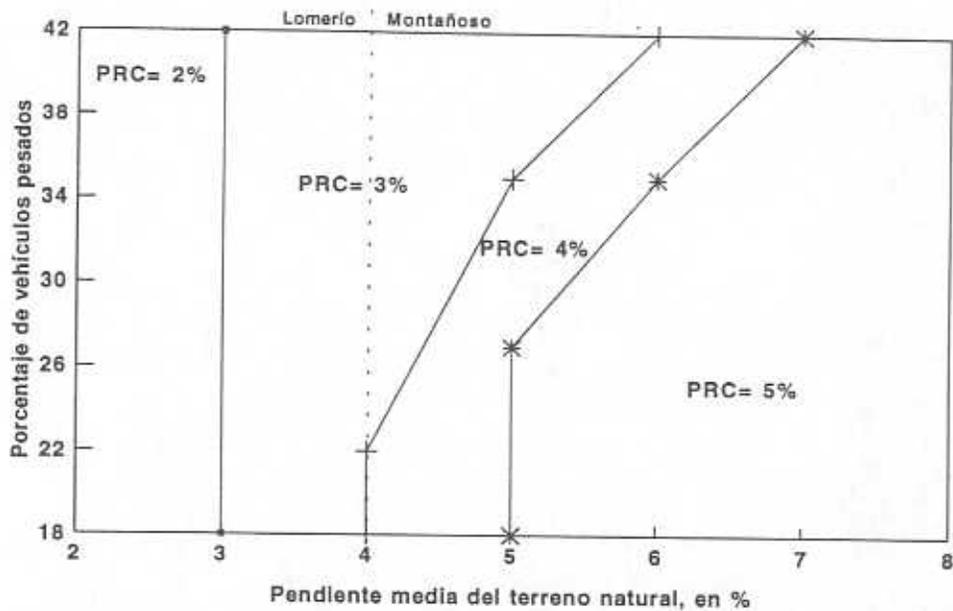
**Figura 6.5.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo B**  
 Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%



Pendiente de referencia del camino = PRC  
 Tránsito: Inicial = 1,200 veh/día; final = 4,300 veh/día  
 Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 1,500-3,000 veh/día  
 Pendiente gobernadora (montañoso) = 5%  
 Pendiente gobernadora (lomerío) = 4%

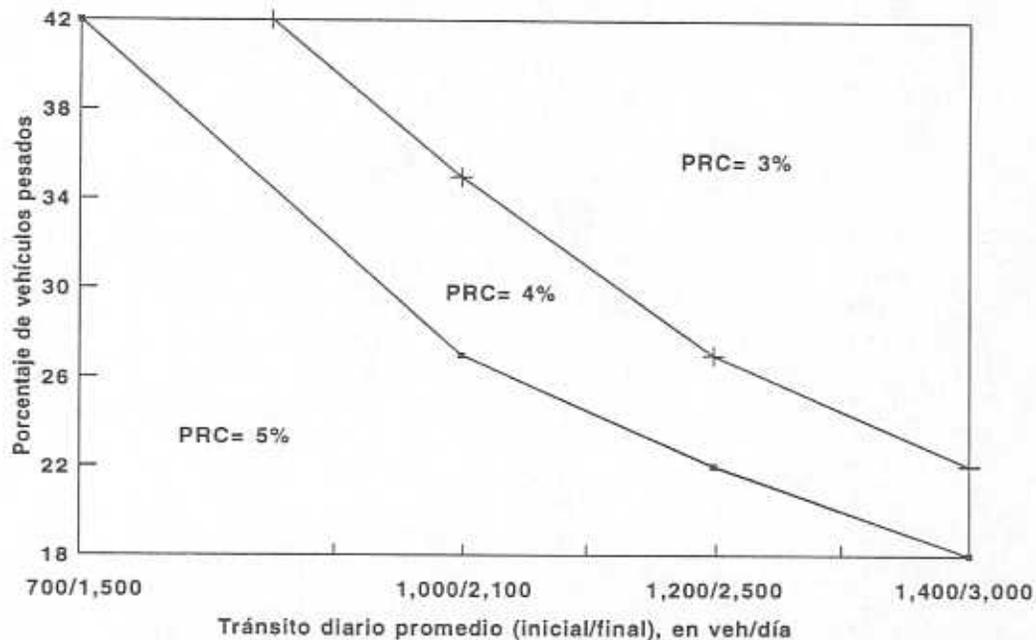
Figura 6.5.B Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo B  
Tasa anual de actualización = 12%



Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tránsito: Inicial = 1,200 veh/día; final = 2,500 veh/día  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%

Tránsito de proyecto: 1,500-3,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 5%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 4%

Figura 6.6 Pendientes de referencia recomendables para diferentes volúmenes de tránsito y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo B  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%



Pendiente media del terreno natural = 5%  
Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 1,500-3,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 5%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 4%

Para las combinaciones que se encuentran dentro del área intermedia, es recomendable la pendiente de referencia de 4% y para el área superior, donde los porcentajes de vehículos pesados son mayores que 22%, es recomendable la pendiente de referencia de 3%.

5.- La figura 6.6.A se generó con las consideraciones de la figura anterior (Fig. 6.6), excepto que la tasa de crecimiento anual del tránsito es de 7%. Para tránsitos finales entre 2,500 y 3,000 veh/día se recomienda la pendiente de 5% en terreno montañoso, cuando el porcentaje de vehículos pesados se encuentra entre 35 y 18%. Para tránsitos finales mayores que 3,000 veh/día es recomendable hacer un análisis similar al mostrado en la figura 6.4, pero para una pendiente del terreno natural de 5%.

#### **d) Carreteras tipo C.**

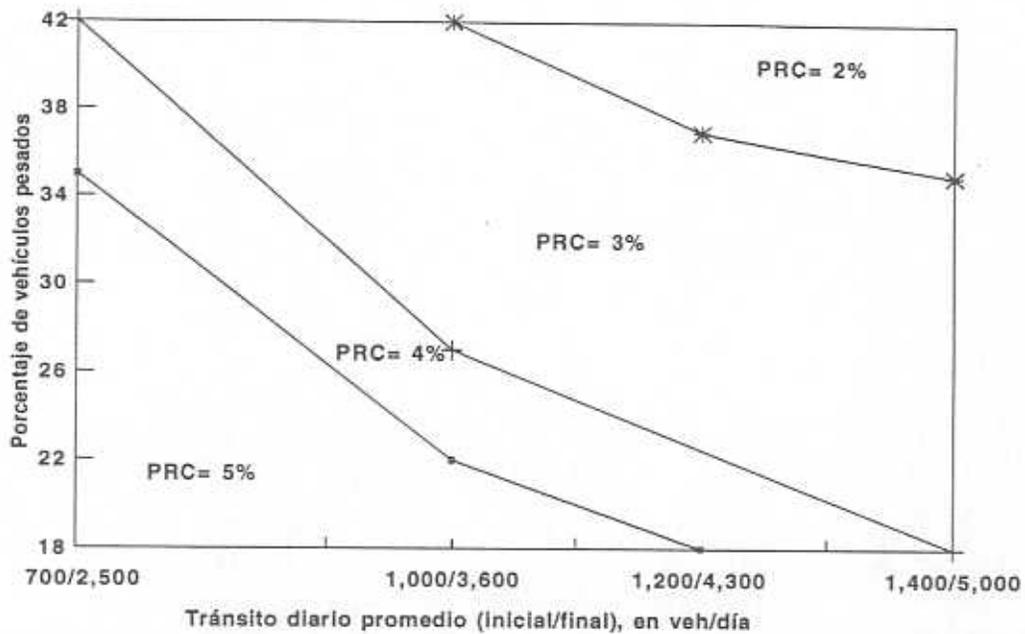
1.- La figura 6.7 resume las pendientes de referencia recomendables para una carretera tipo C en diferentes condiciones de pendientes medias del terreno natural, distintos porcentajes de vehículos pesados y con un tránsito inicial de 700 veh/día que anualmente se incrementa 4%, con lo que el tránsito final alcanza el límite superior del tránsito de proyecto (1,500 a 3,000 veh/día) que marcan las normas para este tipo de camino; se consideró una tasa de actualización de 10% anual.

La pendiente gobernadora que recomiendan las normas en terreno montañoso es 6%, que se cumple para pendientes del terreno mayores que 6% y porcentaje de vehículos pesados menores que 35% o hasta 42%, cuando la pendiente media del terreno natural sea igual que 8%. Existe, en general, una tendencia a considerar la pendiente de referencia que minimiza el costo total con un valor aproximado o igual que la pendiente media del terreno natural, tanto en terreno montañoso como en terreno de lomerío.

Para este tipo de carretera se consideró un tránsito inicial que proyectado no fuera mayor que 1,500 veh/día. Se observó en análisis previos que no sería necesario considerar tránsitos menores debido a que no tendría ningún caso y se dedujo, que si para este tránsito, generalmente, no se recomendaban pendientes menores que la gobernadora en terreno montañoso, menos sucedería para tránsitos mas bajos.

2.- La figura 6.7.A, trata del mismo tipo de camino, porcentaje de vehículos pesados y tasa anual de actualización que el caso de la figura 6.7, excepto que la tasa de crecimiento del tránsito es de 7% anual y el tránsito final resultante es de 2,500 veh/día, que se encuentra fuera del rango de proyecto (500 a 1,500 veh/día) que especifican las normas para una carretera tipo C; por tanto, es recomendable que se analice este caso como un camino tipo B, tomando en cuenta los resultados presentados en la figura 6.5 y en el capítulo 7.

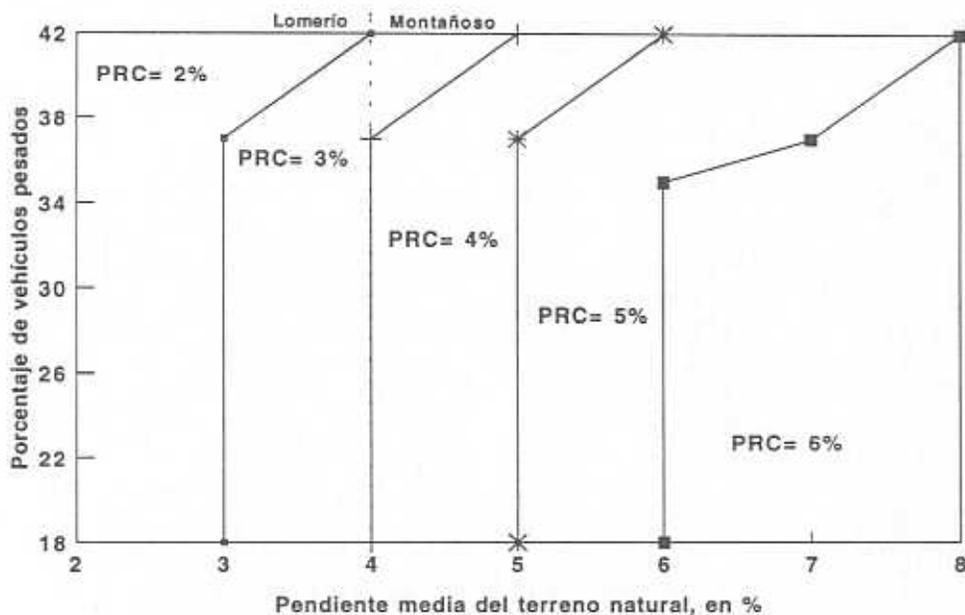
Figura 6.6.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes volúmenes de tránsito y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo B  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%



Pendiente media del terreno natural = 5%  
Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 1,500-3,000 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 5%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 4%

Figura 6.7 Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo C  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%



Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tránsito: inicial = 700 veh/día; final = 1,500 veh/día  
Tasa anual de actualización = 10%

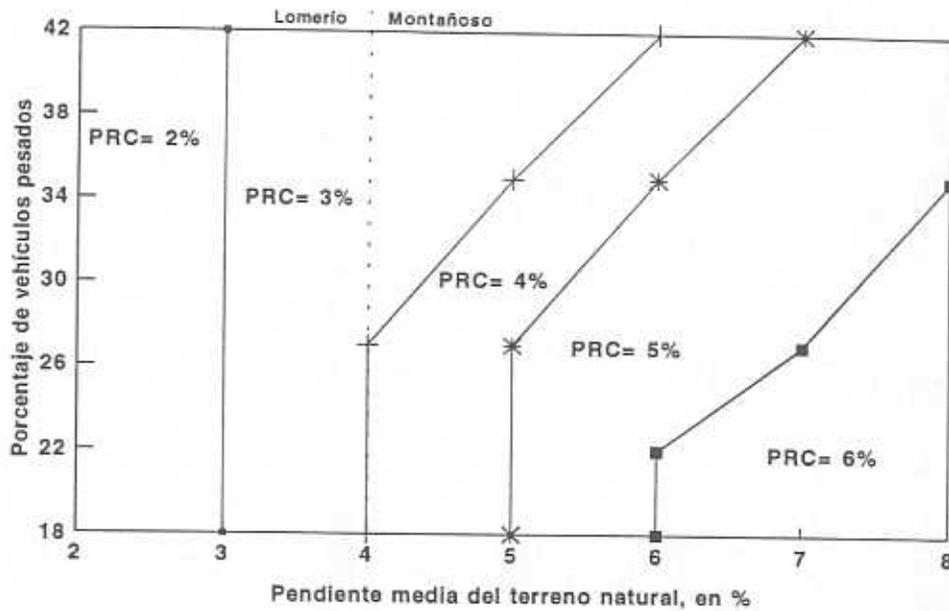
Tránsito de proyecto: 500-1,500 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 6%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 5%

**e) Carreteras tipo D.**

1.- La figura 6.8 muestra las pendientes de referencia para carreteras tipo D. El rango del tránsito de proyecto es de 100 a 500 veh/día, la pendiente gobernadora en terreno montañoso es de 8% y en lomerío es 6%.

Tomando en cuenta que en la carretera tipo C casi no se presenta pendientes recomendables menores respecto de las normas, se optó por analizar el límite superior del rango de tránsito de proyecto, una tasa de crecimiento de 4% y una tasa de actualización de 10%. Como se observa, en la figura no existe ninguna pendiente recomendable menor que la pendiente media del terreno natural; ésto se debe al bajo volumen de tránsito.

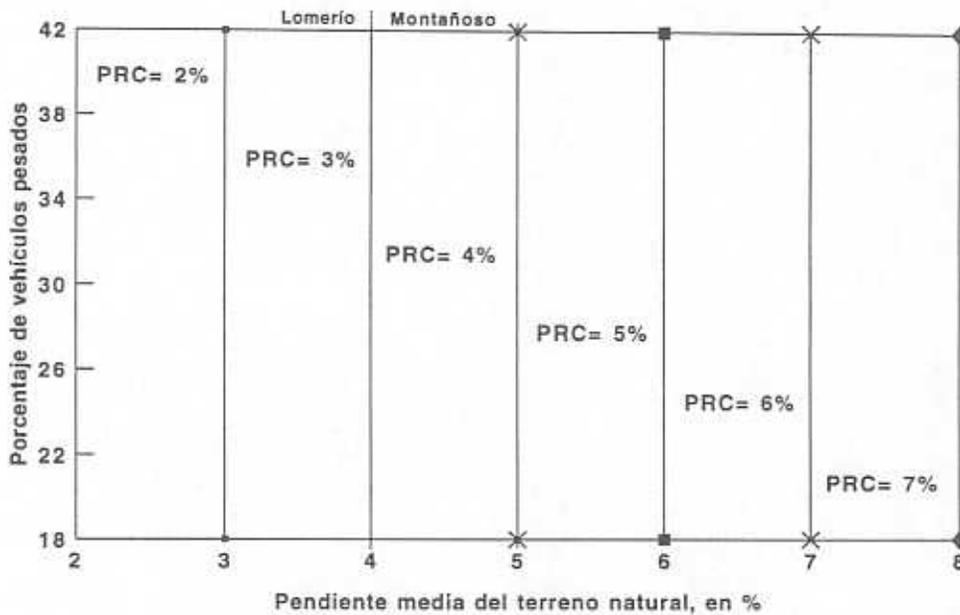
Figura 6.7.A Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo C  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 7%



Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tránsito: inicial = 700 veh/día; final = 2,500 veh/día  
Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 500-1,500 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 6%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 5%

Figura 6.8 Pendientes de referencia recomendables para diferentes pendientes del terreno y porcentajes de vehículos pesados en carreteras tipo D  
Tasa de crecimiento media anual del tránsito = 4%



Pendiente de referencia del camino = PRC  
Tránsito: inicial = 230 veh/día; final = 500 veh/día  
Tasa anual de actualización = 10%

Tránsito de proyecto: 100-500 veh/día  
Pendiente gobernadora (montañoso) = 8%  
Pendiente gobernadora (lomerío) = 6%

## **7. Conclusiones y recomendaciones**

Dada la gran cantidad de casos analizados y de correspondientes pendientes de costo total mínimo (anexo A), se consideró conveniente hacer un esfuerzo de síntesis que pudiera simplificar el uso de este trabajo. Con esta finalidad, se identificaron, para los distintos tránsitos analizados ubicados en el rango de tránsito de proyectos de cada tipo de carretera, (considerando sólo un crecimiento del 4% y una tasa de actualización del 10%), las pendientes de costo total mínimo que pudieran ser generalizables, haciendo para ello más flexible la definición de las fronteras limitadas por los porcentajes de vehículos pesados y las diversas pendientes del terreno natural. Así, la pendiente de referencia de costo total mínimo válida para más de un tránsito quedó acotada por porcentajes de vehículos pesados y pendientes del terreno natural ligeramente distintas a las que definieron las fronteras originales para cada uno de los tránsitos involucrados. La simplificación lograda de esta manera se presenta en el cuadro 7.1.

Cabe aclarar que en ningún caso se recomienda una pendiente mayor que la gobernadora que marcan las normas para cada tipo de carretera, dado que ésta está definida también por consideraciones de velocidad de proyecto, seguridad, capacidad y características de los vehículos.

Las conclusiones por tipo de carretera son:

### **1) Carretera tipo D.**

Las normas actuales definen un rango de tránsito en el horizonte de proyecto de 100 a 500 veh/día; la pendiente gobernadora en terreno montañoso es 8% y en terreno de lomerío es 6%; el ancho de la corona es de 6 metros.

Para los costos de operación se consideró un tránsito final de 500 veh/día, que define el límite superior del tránsito de proyecto que marcan las normas y una composición de 35% de vehículos pesados en el tránsito, que son las condiciones que más favorecerían la recomendación de alguna pendiente gobernadora menor que la de las normas, desde el punto de vista de costo total mínimo.

La pendiente que define el costo total mínimo, para este tipo de carretera, resulta ser la pendiente de referencia que coincide con el valor de la pendiente media del terreno natural; esto significa que el trazo geométrico del perfil vertical de la carretera tipo D debe hacerse superficialmente sobre el terreno natural, tal como lo establecen las normas actuales.

## **2) Carretera tipo C.**

Para este tipo de carretera, las normas definen un rango de tránsito de proyecto de 500 a 1,500 veh/día, una pendiente gobernadora máxima en terreno montañoso de 6% y en lomerío de 5% y un ancho de corona de 7 metros.

Con base en el criterio de costo total mínimo, se concluye que para una carretera tipo C generalmente no existen cambios a la pendiente gobernadora cuando el tránsito de proyecto es menor que 1,500 veh/día y su composición presenta menos del 42% de vehículos pesados. Se recomienda, que cuando la pendiente media del terreno sea menor o igual que 6%, la pendiente de referencia sea aquella que iguale el valor de la pendiente media del terreno natural; sin embargo, si la pendiente media del terreno natural es mayor que 6%, se recomienda la pendiente gobernadora de 6% que marcan las normas vigentes.

## **3) Carretera tipo B.**

Para este tipo de carretera, las normas definen un rango de tránsito de proyecto de 1,500 a 3,000 veh/día, una pendiente gobernadora máxima en terreno montañoso de 5% y en lomerío de 4% y un ancho de corona de 9 metros.

Si el tránsito de proyecto es menor que 2,100 veh/día es recomendable seguir utilizando la pendiente gobernadora que marcan las normas; sin embargo, para volúmenes de tránsito mayores es posible, dependiendo del porcentaje de vehículos pesados y de la pendiente media del terreno natural, recomendar pendientes gobernadoras menores (4 o 3%) respecto de las normas actuales, tal como se observa en el cuadro 7.1.

## **4) Carretera tipo A2.**

Para este tipo de carretera, las normas definen un rango de tránsito de proyecto de 3,000 a 5,000 veh/día, una pendiente gobernadora máxima en terreno montañoso de 4% y en lomerío de 3% y un ancho de corona de 12 metros.

Para este tipo de carretera el análisis efectuado muestra, ya variaciones de pendiente con respecto a las normas. El cuadro 7.1 muestra las pendientes recomendables para los distintos rangos de tránsito, porcentajes de vehículos pesados y pendientes medias del terreno natural. Puede recomendarse pendientes gobernadoras de 2%, 3% y, 4%, de acuerdo con las condiciones señaladas en el cuadro.

Cuadro 7.1 Pendientes de referencia recomendables.

Tipo de Carretera	C O N C E P T O			
	Rango del TDPA en el horizonte de proyecto (veh/día)	Porcentaje de Vehículos pesados (%)	Pendiente Media del Terreno Natural PMTN (%)	Pendiente de Referencia del camino PRC (%)
D	100-500	≤ 42	2 a 8	PMTN (1)
C	500-1,500	≤ 42	≤ 6	PMTN
			> 6	6
B	1,500-2,100	< 42	≤ 5	PMTN
			> 5	5
	2,100-2,500	≥ 35	< 4	PMTN
			4 a 5	3
			6	4
			> 6	5
			< 35	≤ 5
	2,500-3,000	≥ 27	< 4	PMTN
			4 a 6	3
			6 a 8	4
< 27		≤ 5	PMTN	
> 5		5		
A2	3,000-3,800	≥ 37	< 3	2
			3 a 7	3
			> 7	4

Nota 1. Cuando el valor de la pendiente de referencia es la pendiente media del terreno natural, se está indicando que ésta minimiza el costo total.

Continúa cuadro 7.1 Pendientes de referencia recomendables.

Tipo de Carretera	C O N C E P T O				
	Rango del TDPA en el horizonte de proyecto (veh/día)	Porcentaje de Vehículos pesados (%)	Pendiente Media del Terreno Natural PMTN (%)	Pendiente de Referencia del camino PRC (%)	
A2	3,000-3,800	< 37	≤ 4	PMTN (1)	
			> 4	4	
	3,800-4,200	≥ 35	< 3	PMTN	
			3 a 5	2	
			5 a 8	3	
			< 35	≤ 4	PMTN
			> 4	4	
			4,200-4,600	≥ 35	< 3
	4,200-4,600	≥ 35	3 a 6	2	
			6 a 8	3	
			< 35	≤ 4	PMTN
			> 4	4	
	4,600-5,000	≥ 27	< 3	PMTN	
			3 a 6	2	
6 a 8			3		
< 27			≤ 4	PMTN	
> 4			4		
4,600-5,000			< 27	≤ 4	PMTN
A4	5,000-10,000	≥ 35	< 3	PMTN	
			3 a 8	3	

Nota 1. Cuando el valor de la pendiente de referencia es la pendiente media del terreno natural, se está indicando que ésta minimiza el costo total

Continúa cuadro 7.1 Pendientes de referencia recomendables.

Tipo de Carretera	CONCEPTO				
	Rango del TDPA en el horizonte de proyecto (veh/día)	Porcentaje de Vehículos pesados (%)	Pendiente Media del Terreno Natural PMTN (%)	Pendiente de Referencia del camino PRC (%)	
A4	5,000-10,000	< 35	< 4	PMTN (1)	
			4 a 8	4	
	10,000-15,000	≥ 27	< 3	PMTN	
			3 a 4	2	
			4 a 6	3	
			6 a 8	4	
			< 27	< 3	PMTN
			3 a 6	3	
			6 a 8	4	
	15,000-20,000	≥ 27	≤ 5	2	
			5 a 8	3	
		< 27	< 3	PMTN	
			3 a 7	3	
			7 a 8	4	

Nota 1. Cuando el valor de la pendiente de referencia es la pendiente media del terreno natural, se está indicando que ésta minimiza el costo total.

### **5) Carreteras tipo A4.**

El rango del tránsito de proyecto para esta carretera es de 5,000 a 20,000 veh/día, una pendiente gobernadora máxima en terreno montañoso de 4 y en lomerío de 3% y un ancho de corona de 22 metros, para un solo cuerpo o dos cuerpos separados de 11 metros cada uno.

El cuadro 7.1 muestra que la pendiente gobernadora de 4, 3 o 2% en carreteras tipo A4 puede minimizar el costo total, tomando en cuenta el volumen de tránsito, su composición y la pendiente media del terreno natural.

En resumen, para los volúmenes de tránsito bajos y carreteras de especificaciones menos exigentes, la pendiente gobernadora vigente es la que minimiza los costos totales, o bien, es la que garantiza un mínimo de seguridad y operabilidad; es el caso, en general, de las carreteras tipos C y D. Para las carreteras tipo B pueden presentarse casos en que la pendiente gobernadora vigente, u otra en un grado menor, minimice el costo total, dependiendo del volumen, composición y tasa de crecimiento del tránsito. Para volúmenes de tránsito elevados, con porcentajes de vehículos pesados observados frecuentemente (altamente probables), se recomiendan pendientes gobernadoras menores en un grado, respecto de las señaladas en las normas vigentes; es el caso de las carreteras tipo A2 y A4.

### **6) Otras conclusiones y recomendaciones.**

Las pendientes de referencia recomendadas no se verán alteradas si el análisis se realiza con costos mas recientes, siempre y cuando el incremento de cualquiera de los conceptos del costo de operación de vehículos con mayor dependencia de la pendiente del camino no sea desproporcionado. Si el incremento de dicho concepto es importante, la pendiente de referencia recomendada se confirmaría aún más.

La tasa anual de actualización, variable primordial en la evaluación económica, puede influir en las recomendaciones de la pendiente de referencia debido a su efecto reductor del valor actualizado de costos de operación de los tránsitos más alejados del año base, que resultan ser siempre los de mayor magnitud. Esta influencia puede constatarse comparando casos iguales con tasa de actualización de 8, 10 y 12% presentados en el anexo A.

Las recomendaciones se han hecho en función de las características del tránsito, por lo que se recomienda poner la mayor atención a la estimación del tránsito inicial, al pronóstico de su tasa de crecimiento y a la proyección del porcentaje de vehículos pesados esperado.



## Referencias

---

- 1.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT. Normas de Servicios Técnicos. Proyecto Geométrico de Carreteras. Libro 2.01.01. México. 1984.
- 2.- Aguerrebere S. Roberto y Cepeda N. Fernando. Elementos de Proyecto y Costos de Operación en Carreteras. Publicación técnica 20, Instituto Mexicano del Transporte, IMT. Querétaro, México. 1991.
- 3.- Watanatada, Thawat *et al.* *The Highway Design and Maintenance Standards Model. Volume 1. Description of the HDM-III Model. The Highway Design and Maintenance Standards Series. The World Bank. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, US. 1987.*
- 4.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT. Costos Promedios 1990. Dirección General de Construcción y Conservación de la Obra Pública. México. 1990.
- 5.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT. Estudio de Pesos y Dimensiones en la Red Carretera para Vehículos de más de Tres Ejes. Dirección General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones. México 1991.
- 6.- Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, SAHOP. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. Primera edición, tercera reimpresión. México. 1977.
- 7.- Archondo-Callao, Rodrigo. *VOC Model. Version 3.0. The Highway Design and Maintenance Standards Series. The World Bank. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, US. June, 1989.*
- 8.- Aguerrebere S. Roberto y Cepeda N. Fernando. Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras. Publicación técnica 30, Instituto Mexicano del Transporte, IMT. Querétaro, México. 1991.
- 9.- J. Hoban, Christopher. *Evaluating Traffic Capacity and Improvements to Road Geometry. Technical Paper Number 74. The World Bank. Washington, D.C. US. 1987.*



# Anexo A. Pendiente de referencia de costo total mínimo para los casos revisados

**Cuadro A.1 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo D.**

A.1.1 Tasa anual de actualización = 8%

A) Para un TDPA inicial de 230 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 500			TCMA = 7%, TDPAf = 800		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	3
4	42	4	4	42	4
5	27	5	5	42	5
6	42	6	6	42	6
7	37	7	7	42	7
8	27	8	8	42	8

B.1.2 Tasa anual de actualización = 10%

A) Para un TDPA inicial de 230 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 500			TCMA = 7%, TDPAf = 800		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	3
4	42	4	4	42	4
5	42	5	5	42	5
6	42	6	6	42	6
7	42	6	7	42	6
8	42	6	8	42	6

Notas:

TDPAi Tránsito diario promedio anual al inicio de la operación.

TDPAf Tránsito diario promedio anual al final del análisis.

TCMA Tasa de crecimiento media anual del tránsito.

El período de análisis es de 20 años de operación.

**Cuadro A.2 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo C.**

A.2.1 Tasa anual de actualización = 8%

A) Para un TDPA inicial de 700 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 1,500			TCMA = 7%, TDPAf = 2,500		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	3	42	2
3	42	3	3	35	3
4	42	3	4	42	3
4	27	4	4	18	4
5	42	3	5	42	3
5	37	4	5	27	4
5	27	5	5	22	5
6	42	4	6	42	3
6	37	5	6	35	4
6	27	6	6	27	5
7	42	5	6	18	6
7	35	6	7	42	3
8	42	5	7	37	4
8	37	6	7	35	5
			7	22	6
			8	42	4
			8	37	5
			8	27	6

B) Para un TDPA inicial de 550 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 1,100			TCMA = 7%, TDPAf = 2,000		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	4	42	3
3	42	3	4	27	4
4	42	3	5	42	3
4	37	4	5	37	4
5	42	4	5	27	5
5	37	5	6	42	4
6	42	5	6	37	5
6	35	6	6	27	6
7	42	6	7	42	5
8	42	6	7	35	6
			8	42	5
			8	37	6

Continúa cuadro A.2.1 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo C, Tasa anual de actualización = 8%

C) Para un TDPA inicial de 460 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPA <sub>f</sub> = 950			TCMA = 7%, TDPA <sub>f</sub> = 1,650		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	3	42	3
3	42	3	4	42	3
4	42	4	4	37	4
5	42	5	5	42	4
6	42	6	5	37	5
7	42	6	6	42	5
8	42	6	6	35	6
			7	42	5
			7	37	6
			8	42	5
			8	37	6

D) Para un TDPA inicial de 230 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPA <sub>f</sub> = 500			TCMA = 7%, TDPA <sub>f</sub> = 800		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	3
4	42	4	4	42	4
5	42	5	5	42	5
6	42	6	6	42	6
7	42	6	7	42	6
8	42	6	8	42	6

Continúa cuadro A.2 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo C.

### A.2.2 Tasa anual de actualización = 10%

#### A) Para un TDPA inicial de 700 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPA <sub>i</sub> = 1,500			TCMA = 7%, TDPA <sub>i</sub> = 2,500		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	4	42	3
3	42	3	4	27	4
4	42	3	5	42	3
4	40	4	5	35	4
5	42	4	5	27	5
5	37	5	6	42	4
6	42	5	6	35	5
6	35	6	6	22	6
7	42	5	7	42	5
7	37	6	7	27	6
8	42	6	8	42	5
			8	35	6

#### B) Para un TDPA inicial de 550 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPA <sub>i</sub> = 1,100			TCMA = 7%, TDPA <sub>i</sub> = 2,000		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	3	42	3
3	42	3	4	42	3
4	42	4	4	37	4
5	42	5	5	42	4
6	42	6	5	37	5
7	42	6	6	42	5
8	42	6	6	35	6
			7	42	5
			7	37	6
			8	42	6

Continúa cuadro A.2.2 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo C. Tasa anual de actualización = 10%

C) Para un TDPA inicial de 460 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPA <sub>i</sub> = 950			TCMA = 7%, TDPA <sub>f</sub> = 1,650		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	3
4	42	4	4	42	4
5	42	5	5	42	5
6	42	6	6	42	6
7	42	6	7	42	6
8	42	6	8	42	6

D) Para un TDPA inicial de 230 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPA <sub>i</sub> = 500			TCMA = 7%, TDPA <sub>f</sub> = 800		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	3
4	42	4	4	42	4
5	42	5	5	42	5
6	42	6	6	42	6
7	42	6	7	42	6
8	42	6	8	42	6

Notas:

TDPA<sub>i</sub> Tránsito diario promedio anual al inicio de la operación.

TDPA<sub>f</sub> Tránsito diario promedio anual al final del análisis.

TCMA Tasa de crecimiento medio anual del tránsito.

El periodo de análisis es de 20 años de operación.

**Cuadro A.3 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo B.**

A.3.1 Para una tasa anual de actualización = 8%

A) Para un TDPA inicial de 1,400 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 3,000 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 5,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	27	3	3	18	3
4	42	2	4	42	2
4	35	3	4	22	3
5	42	2	5	42	2
5	37	3	5	27	3
5	18	5	6	42	2
6	42	3	6	35	3
6	22	4	7	42	2
6	18	5	7	35	3
7	42	3	7	18	5
7	27	4	8	42	2
7	22	5	8	37	3
8	42	3	8	22	4
8	35	4	8	18	5
8	27	5			

B) Para un TDPA inicial de 1,200 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 2,500 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 4,300 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	35	3	3	22	3
4	42	2	4	42	2
4	37	3	4	27	3
4	18	4	5	42	3
5	42	3	5	35	3
5	22	4	5	18	4
5	18	5	6	42	2
6	42	3	6	22	3
6	27	4	6	18	5
6	22	5	7	42	3
7	42	3	7	22	4
7	35	4	7	18	5
7	27	5	8	42	2
8	46	3	8	37	3
8	37	4	8	27	4
8	35	5	8	22	5

Continúa cuadro A.3.1 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo B. Tasa anual de actualización = 8%

C) Para un TDPA inicial de 1,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 2,100 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 3,600 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	37	3	3	27	3
4	42	3	4	42	2
4	22	4	4	35	3
5	42	3	7	18	4
5	37	4	5	42	2
5	22	5	5	22	3
6	42	3	5	18	5
6	35	4	6	42	3
6	27	5	6	27	4
7	42	3	6	22	5
7	37	4	7	42	3
7	35	5	7	27	5
8	42	4	8	42	3
8	37	5	8	35	4
			8	27	5

D) Para un TDPA inicial de 700 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 1,500 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 2,500 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	3
4	42	3	4	42	3
4	37	4	4	27	4
5	42	4	5	42	3
5	37	5	5	35	4
6	42	5	5	27	5
7	42	5	6	42	3
8	42	5	6	37	4
			6	35	5
			7	42	4
			7	37	5
			8	42	5

Continúa cuadro A.3 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo B.

A.3.2 Para una tasa anual de actualización = 10%

A) Para un TDPA inicial de 1,400 veh/día con TCMA de 4 Y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 3,000 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 5,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	35	3	3	22	3
4	42	2	4	42	2
4	37	3	4	27	3
4	18	4	5	42	2
5	42	3	5	35	3
5	22	4	5	18	4
5	18	5	6	42	2
6	42	3	6	37	3
6	27	4	6	18	5
6	22	5	7	42	3
7	42	3	7	22	4
7	35	4	7	18	5
7	27	5	8	42	3
8	42	3	8	27	4
8	37	4	8	22	5
8	35	5			

B) Para un TDPA inicial de 1,200 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 2,500 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 4,300 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	37	3	3	27	3
4	42	3	4	42	2
4	22	4	4	35	3
5	42	3	4	18	4
5	37	4	5	42	2
5	18	5	5	38	3
6	42	3	5	18	5
6	35	4	6	42	3
6	27	5	6	27	4
7	42	3	6	22	5
7	37	4	7	42	3
7	35	5	7	27	5
8	42	4	8	42	3
8	37	5	8	35	4
			8	27	5

Continúa cuadro A.3.2 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo B. Tasa anual de actualización = 10%

C) Para un TDPA inicial de 1,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 2,100 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 3,600 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	2
4	42	3	3	35	3
4	27	4	4	42	3
5	42	3	4	22	4
5	35	4	5	42	3
5	27	5	5	27	4
6	42	4	5	22	5
6	37	5	6	42	3
7	42	5	6	35	4
8	42	5	6	27	5
			7	42	3
			7	37	4
			7	35	5
			8	42	4
			8	37	5

D) Para un TDPA inicial de 700 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 1,500 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 2,500 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	3
4	42	4	4	42	3
5	42	5	4	35	4
6	42	5	5	42	4
7	42	5	5	35	5
8	42	5	6	42	5
			7	42	5
			8	42	5

Continúa cuadro A.3 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo B.

A.3.3 Para una tasa anual de actualización = 12%

A) Para un TDPA inicial de 1,400 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 3,000 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 5,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	37	3	3	27	3
4	42	3	4	42	2
4	22	4	4	35	3
5	42	3	4	18	4
5	27	4	5	42	2
5	22	5	5	37	3
6	42	3	5	22	4
6	35	4	5	18	5
6	27	5	6	42	3
7	42	3	6	27	4
7	37	4	6	22	5
7	35	5	7	42	3
8	42	4	7	27	5
8	37	5	8	42	3
			8	35	5

B) Para un TDPA inicial de 1,200 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 2,500 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 4,300 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	2
4	42	3	3	35	3
4	22	4	4	42	3
5	42	3	4	18	4
5	35	4	5	42	3
5	27	5	5	27	4
6	42	4	5	22	5
6	35	5	6	42	3
7	42	5	6	35	4
8	42	5	6	27	5
			7	42	3
			7	37	4
			7	35	5
			8	42	4
			8	37	5

Continúa cuadro A.3.3 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo B. Tasa anual de actualización = 12%

C) Para un TDPA inicial de 1,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 2,100 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 3,600 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	3
4	42	3	4	42	3
4	35	4	4	27	4
5	42	4	5	42	3
5	37	5	5	35	4
6	42	5	5	27	5
7	42	5	6	42	3
8	42	5	6	37	4
			6	35	5
			7	42	4
			7	37	5
			8	42	5

D) Para un TDPA inicial de 700 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 1,500 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 2,500 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	3
4	42	4	4	42	4
5	42	5	5	42	5
6	42	5	6	42	5
7	42	5	7	42	5
8	42	5	8	42	5

Notas:

TDPAf Tránsito diario promedio anual al inicio de la operación.

TDPAf Tránsito diario promedio anual al término del análisis económico.

TCMA Tasa de crecimiento media anual del tránsito.

El período de análisis es de 20 años de operación.

### Cuadro A.4 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo A2.

A.4.1 Para una tasa anual de actualización = 8%

A) Para un TDPA inicial de 2,200 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 4,600 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 8,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	1
3	42	2	2	35	2
3	18	3	3	42	1
4	42	2	3	37	2
4	22	3	4	42	2
5	42	2	4	18	3
5	27	3	5	42	2
6	42	2	5	18	3
6	27	3	6	42	2
7	42	2	6	22	3
7	35	3	7	42	2
7	18	4	7	22	3
8	42	2	8	42	2
8	35	3	8	27	3
8	18	4			

B) Para un TDPA inicial de 2,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 4,200 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 7,200 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	1
3	42	2	2	35	2
3	22	3	3	42	2
4	42	2	3	18	3
4	27	3	4	42	2
5	42	2	4	18	3
5	27	3	5	42	2
6	42	2	5	22	3
6	35	3	6	42	2
6	18	4	6	22	3
7	42	2	7	42	2
7	37	3	7	27	3
7	18	4	8	42	2
8	46	2	8	35	3
8	37	3			
8	22	4			

Continúa cuadro A.4.1 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo A2. Tasa anual de actualización = 8%

C) Para un TDPA inicial de 1,800 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPA <sub>i</sub> = 3.800 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPA <sub>i</sub> = 6.500 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	1
3	42	2	2	37	2
3	22	3	3	42	2
4	42	2	3	18	3
4	27	3	4	42	2
5	42	2	4	22	3
5	35	3	5	42	2
5	18	4	5	22	3
6	42	2	6	42	2
6	37	3	6	27	3
6	18	4	7	42	2
7	42	3	7	35	3
7	22	4	7	18	4
8	42	3	8	42	2
8	27	4	8	35	3
			8	18	4

D) Para un TDPA inicial de 1,400 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPA <sub>i</sub> = 3.000 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPA <sub>i</sub> = 5.000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	35	3	3	22	3
4	42	2	4	42	2
4	37	3	4	27	3
4	18	4	5	42	2
5	42	3	5	35	3
5	22	4	5	18	4
6	42	3	6	42	2
6	27	4	6	37	3
7	42	3	6	18	4
7	35	4	7	42	3
8	42	3	7	22	4
8	35	4	8	42	3
			8	27	4

Continúa cuadro A.4 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo A2.

A.4.2 Para una tasa anual de actualización = 10%

A) Para un TDPA inicial de 2,200 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 4,600 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 8,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	1
3	42	2	2	37	2
3	22	3	3	42	2
4	42	2	3	18	3
4	27	3	4	42	2
5	42	2	4	18	3
5	35	3	5	42	2
6	42	2	5	22	3
6	35	3	6	42	2
8	18	4	6	27	3
7	42	2	7	42	2
7	37	3	7	35	3
7	22	4	8	42	2
8	42	3	8	35	3
8	22	4	8	18	4

B) Para un TDPA inicial de 2,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 4,200 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 7,200 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	27	3	3	18	3
4	42	2	4	42	2
4	35	3	4	22	3
5	42	2	5	42	2
5	35	3	5	18	3
5	18	4	6	42	2
6	42	2	6	35	3
6	37	3	7	42	2
6	22	4	7	35	3
7	42	3	7	18	4
7	22	4	8	42	2
8	42	3	8	37	3
8	27	4	8	18	4

Continúa cuadro A.4.2 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo A2. Tasa anual de actualización = 10%

C) Para un TDPA inicial de 1,800 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 3,800 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 6,500 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	35	3	3	22	3
4	42	2	4	42	2
4	35	3	4	27	3
4	18	4	5	42	2
5	42	2	5	35	3
5	37	3	6	42	2
5	18	4	6	35	3
6	42	3	6	18	4
6	22	4	7	42	2
7	42	3	7	37	3
7	27	4	7	18	4
8	42	3	8	42	3
8	35	4	8	22	4

D) Para un TDPA inicial de 1,400 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 3,000 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 5,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	37	3	3	35	3
4	42	3	4	42	2
4	22	4	4	35	3
5	42	3	4	18	4
5	27	4	5	42	2
6	42	3	5	37	3
6	35	4	5	22	4
7	42	3	6	42	3
7	37	4	6	27	4
7	37	4	7	42	3
8	42	4	7	27	4
			8	42	3
			8	35	4

Continúa cuadro A.4 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo A2.

A.4.3 Para una tasa anual de actualización = 12%

A) Para un TDPA inicial de 2,200 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 4,600 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 8,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	27	3	3	22	3
4	42	2	4	42	2
4	27	3	4	27	3
4	18	4	5	42	2
5	42	2	5	27	3
5	37	3	6	42	2
5	18	4	6	35	3
6	42	3	6	18	4
6	22	4	7	42	2
7	42	3	7	37	3
7	27	4	7	18	4
8	42	3	8	42	2
8	27	4	8	37	3
			8	22	4

B) Para un TDPA inicial de 2,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 4,200 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 7,200 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	35	3	3	22	3
4	42	2	4	42	2
4	37	3	4	27	3
4	18	4	5	42	2
5	42	3	5	35	3
5	22	4	5	18	4
6	42	3	6	42	2
6	27	4	6	37	3
7	42	3	6	18	4
7	27	4	7	42	2
8	42	3	7	37	3
8	35	4	7	22	4
			8	42	3
			8	27	4

Continúa cuadro A.4.3 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo A2. Tasa anual de actualización = 12%

C) Para un TDPA inicial de 1,800 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPA <sub>i</sub> = 3,800 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPA <sub>f</sub> = 6,500 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	35	3	3	27	3
4	42	3	4	42	2
4	22	4	4	35	3
5	42	3	4	18	4
5	27	4	5	42	2
6	42	3	5	37	3
6	27	4	5	18	4
7	42	3	6	42	3
7	35	4	6	22	4
8	42	3	6	35	5
8	37	4	7	42	3
			7	27	4
			8	42	3
			8	27	4

D) Para un TDPA inicial de 1,400 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPA <sub>i</sub> = 3,000 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPA <sub>f</sub> = 5,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	2
4	42	3	3	37	3
4	35	4	4	42	3
5	42	3	4	22	4
5	35	4	5	42	3
6	42	4	5	27	4
7	42	4	6	42	3
8	42	4	6	35	4
			7	42	3
			7	35	4
			8	42	3
			8	37	4

Notas:  
 TDPA<sub>i</sub> Tránsito diario promedio anual al inicio de la operación.  
 TDPA<sub>f</sub> Tránsito diario promedio anual al final del periodo de análisis.  
 TCMA Tasa de crecimiento media anual del tránsito.  
 El periodo de análisis es de 20 años de operación.

**Cuadro A.5 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo A4.**

A.5.1 Para una tasa anual de actualización = 8%

A) Para un TDPA inicial de 9,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 19,000 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 32,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	1	2	42	1
2	37	2	2	27	2
3	42	2	3	42	1
4	42	2	3	35	2
4	18	3	4	42	1
5	42	2	4	37	2
5	22	3	5	42	2
6	42	2	5	18	3
6	27	3	6	42	2
7	42	2	6	18	3
7	27	3	7	42	2
8	42	2	7	22	3
8	35	3	8	42	2
8	18	4	8	22	3

B) Para un TDPA inicial de 7,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 15,000 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 25,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	1
3	42	2	2	37	2
3	22	3	3	42	2
4	42	2	3	18	3
4	27	3	4	42	2
5	42	2	4	18	3
5	35	3	5	42	2
6	42	2	5	22	3
6	35	3	6	42	2
6	18	4	6	27	3
7	42	2	7	42	2
7	37	3	7	27	3
7	18	4	8	42	2
8	42	3	8	35	3
8	22	4	8	18	4

Continúa cuadro A.5.1 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo A4. Tasa anual de actualización = 8%

C) Para un TDPA inicial de 5,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 10,500 VEH/DÍA			TCMA = 7%, TDPAf = 18,000 VEH/DÍA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	35	3	3	27	3
4	42	2	4	42	2
4	37	3	4	35	3
4	18	4	5	42	2
5	42	3	5	35	3
5	22	4	5	18	4
6	42	3	6	42	2
6	27	4	6	37	3
7	42	3	6	18	4
7	35	4	7	42	3
8	42	3	7	22	4
8	37	4	8	42	3
			8	27	4

D) Para un TDPA inicial de 2,400 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 5,000 VEH/DÍA			TCMA = 7%, TDPAf = 8,600 VEH/DÍA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	3
4	42	4	4	42	3
5	42	4	4	37	4
6	42	4	5	42	4
7	42	4	6	42	4
8	42	4	7	42	4
			8	42	4

Continúa cuadro A.5 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo A4.

A.5.2 Para una tasa anual de actualización = 10%

A) Para un TDPA inicial de 9,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 19,000 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 32,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	1
3	42	2	2	35	2
3	18	3	3	42	1
4	42	2	3	37	2
4	22	3	4	42	2
5	42	2	4	18	3
5	27	3	5	42	2
6	42	2	5	18	3
6	35	3	6	42	2
6	18	4	6	22	3
7	42	2	7	42	2
7	35	3	7	27	3
7	18	4	8	42	2
8	42	2	8	35	3
8	37	3			
8	22	4			

B) Para un TDPA inicial de 7,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 15,000 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 25,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	27	3	3	18	3
4	42	2	4	42	2
4	35	3	4	22	3
4	18	4	5	42	2
5	42	2	5	27	3
5	37	3	6	42	2
5	18	4	6	35	3
6	42	3	6	18	4
6	22	4	7	42	2
7	42	3	7	35	3
7	27	4	7	18	4
8	42	3	8	42	2
8	27	4	8	37	3
			8	22	4

Continúa cuadro A.5.2 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo A4. Tasa anual de actualización = 10%

C) Para un TDPA inicial de 5,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 10,500 VEH/DÍA			TCMA = 7%, TDPAf = 18,000 VEH/DÍA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	2
4	42	3	3	35	3
4	27	4	4	42	2
5	42	3	4	37	3
5	35	4	4	18	4
6	42	3	5	42	3
6	35	4	5	18	4
7	42	3	6	42	3
7	37	4	6	27	4
8	42	4	7	42	3
			7	35	4
			8	42	3
			8	37	4

D) Para un TDPA inicial de 2,400 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 5,000 VEH/DÍA			TCMA = 7%, TDPAf = 8,600 VEH/DÍA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	3
4	42	4	4	42	4
5	42	4	5	42	4
6	42	4	6	42	4
7	42	4	7	42	4
8	42	4	8	42	4

Continúa cuadro A.5 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo A4.

A.5.3 Para una tasa anual de actualización = 12%

A) Para un TDPA inicial de 9,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 19,000 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 32,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	22	3	3	18	3
4	42	2	4	42	2
4	27	3	4	22	3
5	42	2	5	42	2
5	35	3	5	27	3
5	18	4	6	42	2
6	42	2	6	27	3
6	37	3	7	42	2
6	18	4	7	35	3
7	42	3	7	18	4
7	22	4	8	42	2
8	42	3	8	37	3
8	27	4	8	18	4

B) Para un TDPA inicial de 7,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPAf = 15,000 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPAf = 25,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	2	3	42	2
3	35	3	3	27	3
4	42	2	4	42	2
4	37	3	4	35	3
4	18	4	5	42	2
5	42	3	5	35	3
5	22	4	5	18	4
6	42	3	6	42	2
6	27	4	6	37	3
7	42	3	6	18	4
7	35	4	7	42	3
8	42	3	7	22	4
8	37	4	8	42	3
			8	27	4

Continúa cuadro A.5.3 Pendiente de referencia de costo total mínimo en carreteras tipo A4. Tasa anual de actualización = 12%

C) Para un TDPA inicial de 5,000 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPA <sub>f</sub> = 10,500 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPA <sub>f</sub> = 16,000 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	2
4	42	3	3	37	3
4	35	4	4	42	3
5	42	3	4	22	4
5	37	4	5	42	3
6	42	4	5	27	4
7	42	4	6	42	3
8	42	4	6	35	4
			7	42	3
			7	37	4
			8	42	4

D) Para un TDPA inicial de 2,400 veh/día con TCMA de 4 y 7%

TCMA = 4%, TDPA <sub>f</sub> = 5,000 VEH/DIA			TCMA = 7%, TDPA <sub>f</sub> = 8,600 VEH/DIA		
PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)	PEND. MED TERRENO NATURAL (%)	PARA UN % DE VEHICULOS PESAD ≤ QUE	PENDIENTE DE REFERENCIA DE COSTO TOTAL MINIMO (%)
2	42	2	2	42	2
3	42	3	3	42	3
4	42	4	4	42	4
5	42	4	5	42	4
6	42	4	6	42	4
7	42	4	7	42	4
8	42	4	8	42	4

Notas:

TDPA<sub>i</sub> Tránsito diario promedio anual al inicio de la operación.  
 TDPA<sub>f</sub> Tránsito diario promedio anual al final del periodo de análisis.  
 TCMA Tasa de crecimiento media anual del tránsito.  
 El periodo de análisis es de 20 años de operación.



## Anexo B. Programa de cómputo para calcular el costo total.

---

Este anexo contiene un programa de cómputo que calcula los costos de construcción, de operación de vehículos y el costo total actualizado para diferentes opciones de pendiente de referencia del camino; el programa permite imprimir las características de cada alternativa y elegir la pendiente de costo total mínimo.

La base de datos de costos de operación está referida, con fines de simplificación, a un vehículo teórico compuesto por la fracción de vehículos pesados y ligeros para las pendientes de referencia del camino. Para obtener costo de operación anual se multiplica el costo de operación del vehículo teórico por el tránsito diario promedio anual, por los días del año y por el factor que depende de la tasa de crecimiento media anual.

El programa se presenta para las carreteras de tipo A2, pero puede adaptarse a cualquier tipo de carretera deseado, únicamente cambiando los datos del tránsito inicial, su tasa de crecimiento, el ancho de la corona y la pendiente gobernadora en terreno montañoso.

El programa es el siguiente:

```
*****
' PROGRAMA QUE CALCULA EL COSTO TOTAL MINIMO PARA UNA
' CARRETERA TIPO A2
' VARIABLES: PMTN = PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO NATURAL
'             PRC = PENDIENTE DE REFERENCIA DEL CAMINO
'             PGOB = PENDIENTE GOBERNADORA MAXIMA
'             TDPAi = TRANSITO AL INICIO DE LA OPERACION (1,400 -
'                   2,200 VEH/DIA)
'             TCMA = TASA DE CRECIMIENTO MEDIA ANUAL DEL
'                   TRANSITO
'             COMP = COMPOSICION DEL TDPA
'             TAA = TASA ANUAL DE ACTUALIZACION
*****
CLS
CLEAR
DIM TDPA(4), TCMA(3), COMP(8, 6), TAA(3), EWV(8, 8),
DIM COST(8, 8)
DIM CTERR(8, 8)
DIM CT(9), CCONST(8, 8), CAM%(6)
' PENDIENTE GOBERNADORA MAXIMA PERMITIDA (MONTAÑOSO) =
4%
```

Continúa programa ...

```
PGOB = 4
FOR I = 1 TO 3
READ TAA(I)
NEXT I
' DATOS DE LA TASA ANUAL DE ACTUALIZACION EN %
DATA 8,10,12
FOR I = 1 TO 4
READ TDPA(I)
NEXT I
' DATOS DE TDPA inicial
DATA 2200,2000,1800,1400
FOR I = 1 TO 3
READ TCMA(I)
NEXT I
' DATOS DE LA TASA DE CRECIMIENTO MEDIA ANUAL DEL TDPA EN
%
DATA 4,7
FOR J = 1 TO 6
FOR PRC = 1 TO 8
READ COMP(PRC, J)
NEXT PRC, J
' DATOS DE LOS COSTOS DE OPERACION DE VEHICULOS
DATA 705.5,730.8,782.5,864.7,943.9,1032.9,1140.8,1250.5
DATA 773,805.1,870.4,971.3,1070.6,1182.8,1317.1,1456
DATA 814,851.1,926.2,1039.7,1152.1,1279.4,1430.6,1588.2
DATA 886.1,928.7,1015.2,1146.4,1277.9,1427.7,1604.7,1790.7
DATA 946.6,998,1100.8,1251.7,1403.5,1576.4,1779,1993.6
DATA 1001,1058.6,1173.5,1340.6,1509.7,1702.4,1927.5,2166.9
FOR J = 1 TO 6
READ VPES%(J)
NEXT J
'DATOS DEL % DE VEHICULOS PESADOS
DATA 18,22,27,35,37,42
' CALCULO DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCION
' PRECIO UNITARIOS DE CONSTRUCCION
LIMP = 6000: TERR = 31303: CARP = 189902: BASUB = 83915
CUN = 40000: ALC = 3000000: PUENT = 1400000
OTROS = 15000000: CIND = 0
AC = 12
PRINT
PRINT TAB(10); "ESTIMACION DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCION"
PRINT "          PARA UNA CARRETERA TIPO A2"
PRINT
PRINT TAB(11); CHR$(218); : FOR P = 2 TO 8
PRINT TAB(P + 10); CHR$(196);
Continúa programa ...
```

```
NEXT P: PRINT TAB(19); CHR$(194);
FOR P = 10 TO 16: PRINT TAB(P + 10); CHR$(196);
NEXT P: PRINT TAB(27); CHR$(194);
FOR P = 18 TO 34: PRINT TAB(P + 10); CHR$(196);
NEXT P: PRINT TAB(45); CHR$(191)
PRINT TAB(11); CHR$(179); " PTN "; CHR$(179); " PRC ";
PRINT CHR$(179); " COSTOS DE CONST"; TAB(45); CHR$(179)
PRINT TAB(11); CHR$(195);
FOR P = 2 TO 8: PRINT TAB(P + 10); CHR$(196); : NEXT P: PRINT
TAB(19); CHR$(197);
FOR P = 10 TO 16: PRINT TAB(P + 10); CHR$(196); : NEXT P: PRINT
TAB(27); CHR$(197);
FOR P = 18 TO 34: PRINT TAB(P + 10); CHR$(196); : NEXT P: PRINT
TAB(45); CHR$(180)
FOR PMTN = 2 TO 8
FOR PRC = 1 TO PMTN
G = PMTN - PRC
H = 1.41 + 1.29 * G + 0.139 * PMTN
EWV = 1000 * (AC + 0.731 * H) * H
CTERR(PMTN, PRC) = EWV * TERR
NEXT PRC, PMTN
FOR PMTN = 2 TO 8
ACG = 1770 * EXP(0.278 * PMTN) +
      1610 * EXP(-0.114 * PMTN) * AC
ALPC = 2.57 * EXP(-0.0313 * PMTN) * AC ^ 0.895
IF PMTN < 1 THEN DRL = 1.97 * ALPC: ANBC = 0.27
      : AB = 4.35 * AC: GOTO 239
IF PMTN < 4 THEN DRL = 1.74 * ALPC: ANBC = .15
      : AB = 2.09 * AC: GOTO 239
DRL = 2.02 * ALPC: ANBC = .62: AB = 1.83 * AC
239 COST = ACG * LIMP + DRL * CUN + ANBC * ALC
      + AB * PUENT
COST = COST + .2 * AC * 1000 * BASUB
      + .05 * AC * 1000 * CARP + OTROS
FOR PRC = 1 TO PMTN
COST(PMTN, PRC) = (COST + CTERR(PMTN, PRC)) * (1 + CIND / 100)
PRINT TAB(11); CHR$(179); TAB(14); PMTN; TAB(19); CHR$(179);
PRINT TAB(22); PRC; TAB(27); CHR$(179);
PRINT TAB(30); USING "#####.###^ ^ ^"; COST(PMTN, PRC);
PRINT TAB(45); CHR$(179)
NEXT PRC
NEXT PMTN
PRINT TAB(11); CHR$(192);
Continúa programa ...
```

```
FOR P = 2 TO 8: PRINT TAB(P + 10); CHR$(196); : NEXT P
PRINT TAB(19); CHR$(193);
FOR P = 10 TO 16: PRINT TAB(P + 10); CHR$(196); : NEXT P:
PRINT TAB(27); CHR$(193);
FOR P = 18 TO 34: PRINT TAB(P + 10); CHR$(196); : NEXT P: PRINT
TAB(45); CHR$(217)
PRINT
PRINT TAB(11); "PMTN = PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO NATURAL
%"
PRINT TAB(11); "PRC=PENDIENTE DE REFERENCIA DEL CAMINO (%)"
PRINT TAB(11); "PRECIOS DE 1990"
PRINT
PRINT TAB(10); "CALCULO DEL COSTO DE OPERACION DURANTE EL
PERIODO DE 20 AÑOS DE"
PRINT TAB(10); "OPERACION DE LA CARRETERA."
PRINT
PRINT TAB(10); CHR$(218); : FOR A = 11 TO 18: PRINT TAB(A);
CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(19); CHR$(194); : FOR A = 20 TO 26: PRINT TAB(A);
CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(27); CHR$(194); : FOR A = 28 TO 35: PRINT TAB(A);
CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(36); CHR$(194); : FOR A = 37 TO 44: PRINT TAB(A);
CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(45); CHR$(194); : FOR A = 46 TO 52: PRINT TAB(A);
CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(53); CHR$(194); : FOR A = 54 TO 60: PRINT TAB(A);
CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(61); CHR$(194); : FOR A = 62 TO 79: PRINT TAB(A);
CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(80); CHR$(191)
PRINT TAB(10); CHR$(179); TAB(13); "TAA"; TAB(19); CHR$(179);
TAB(21); "TCMA";
PRINT TAB(27); CHR$(179); TAB(30); "% DE"; TAB(36);
CHR$(179); TAB(39); "TDPA";
PRINT TAB(45); CHR$(179); TAB(48); "PMTN";TAB(53); CHR$(179);
TAB(56); "PRC";
PRINT TAB(61); CHR$(179); TAB(66); "COSTO TOTAL"; TAB(80);
CHR$(179)
PRINT TAB(10); CHR$(179); TAB(14); "%"; TAB(19); CHR$(179);
TAB(23); "%";
PRINT TAB(27); CHR$(179); TAB(29); "DE VEH PES"; TAB(36);
CHR$(179); TAB(37); "VEH/DIA";
PRINT TAB(45); CHR$(179); TAB(49); "%"; TAB(53); CHR$(179);
Continúa programa ...
```

```
TAB(57); "%";
PRINT TAB(61); CHR$(179); TAB(69); "MINIMO";
PRINT TAB(80); CHR$(179)
PRINT TAB(10); CHR$(195); : FOR A = 11 TO 18: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(19); CHR$(197); : FOR A = 20 TO 26: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(27); CHR$(197); : FOR A = 28 TO 35: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(36); CHR$(197); : FOR A = 37 TO 44: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(45); CHR$(197); : FOR A = 46 TO 52: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(53); CHR$(197); : FOR A = 54 TO 60: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(61); CHR$(197); : FOR A = 62 TO 79: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(80); CHR$(180)
FOR H = 1 TO 3
FOR I = 1 TO 3
FOR J = 1 TO 6
FOR K = 1 TO 4
FOR PMTN = 2 TO 8
PRC = 0
FOR PRC = 1 TO PMTN
FOR N = 2 TO 21
COV = 365 * TDPA(K) * COMP(PRC, J) * (1 + TCMA(I) / 100) ^
    (N - 2)
COVT = COV / ((1 + TAA(H) / 100) ^ (N - 1))
S = SUMA + COVT
SUMA = S
NEXT N
CT(PRC) = SUMA + COST(PMTN, PRC)
SUMA = 0
NEXT PRC
CTMIN = CT(PMTN): PMIN = PMTN
FOR L = PMTN TO 1 STEP -1
IF CTMIN < CT(L) THEN 550
CTMIN = CT(L): PMIN = L
550 NEXT L
IF PMIN > PGOB THEN PMIN = PGOB: GOTO 570
570 PRINT TAB(10); CHR$(179); TAB(13); TAA(H); TAB(19);
    CHR$(179);
PRINT TAB(22); TCMA(I); TAB(27); CHR$(179); TAB(30); VPES%(J);
    TAB(36); CHR$(179);
```

Continúa programa ...

```
PRINT TAB(38); USING "#####"; TDPA(K);
PRINT TAB(45); CHR$(179); TAB(48); PMTN; TAB(53); CHR$(179);
PRINT TAB(57); PMIN; TAB(61); CHR$(179);
PRINT TAB(65); USING "#####.###^ ^ ^ ^"; CT(PMIN);
PRINT TAB(80); CHR$(179)
NEXT PMTN
NEXT K, J, I, H
PRINT TAB(10); CHR$(192); : FOR A = 11 TO 18: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(19); CHR$(193); : FOR A = 20 TO 26: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(27); CHR$(193); : FOR A = 28 TO 35: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(36); CHR$(193); : FOR A = 37 TO 44: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(45); CHR$(193); : FOR A = 46 TO 52: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(53); CHR$(193); : FOR A = 54 TO 60: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(61); CHR$(193); : FOR A = 62 TO 79: PRINT TAB(A);
    CHR$(196); : NEXT A
PRINT TAB(80); CHR$(217)
PRINT
PRINT
PRINT TAB(10); " TAA = TASA ANUAL DE ACTUALIZACION EN %"
PRINT TAB(10); " TCMA = TASA DE CRECIMIENTO MEDIA ANUAL EN
%"
PRINT TAB(10); "VPES% = % DE VEHICULOS PESADOS EN EL TDPA"
PRINT TAB(10); " TDPA = TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL EN
    VEH/DIA"
PRINT TAB(10); " PMTN = PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO NATURAL
    EN %"
PRINT TAB(10); " PRC = PENDIENTE DE REFERENCIA DEL CAMINO EN
    %"
PRINT TAB(10); " AC = ANCHO DE CORONA EN METROS"
END
```