



Certificación ISO 9001:2008 ‡

Propuesta conceptual para el establecimiento de tarifas en autopistas de cuota: Una visión económica

Guillermo Torres Vargas
José Alejandro González García
Salvador Hernández García
José Antonio Arroyo Osorno
Juan Ignacio Ruvalcaba Martínez

**Publicación Técnica No. 405
Sanfandila, Qro., 2013**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Propuesta conceptual para el establecimiento de
tarifas en autopistas de cuota: Una visión
económica**

Publicación Técnica No. 405
Sanfandila, Qro., 2013

Este trabajo fue realizado en el Instituto Mexicano del Transporte por el Dr. Guillermo Torres Vargas, los M. en I. José Alejandro González García, José Antonio Arroyo Osorno, Salvador Hernández García y el Lic. Juan Ignacio Ruvalcaba Martínez, de la Coordinación de Economía de los Transportes y Desarrollo Regional.

El presente estudio tiene la finalidad de proporcionar a los responsables de fijar el nivel de peaje que debe cobrarse en carreteras de cuota, una metodología que contemple el costo generalizado del transporte de las opciones que tendría el usuario para desplazarse, sin perder de óptica el beneficio económico que obtendrá el usuario, por los ahorros debidos a los costos de operación y el tiempo de recorrido, con objeto de evitar afectar la dinámica de las demás ramas de la actividad económica.

Contenido

Resumen	ix
Abstract	xi
Resumen ejecutivo	xiii
1. Introducción	1
1.1. Objeto de estudio	2
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos particulares	4
1.4. Metodología	4
2. Estimación del nivel de servicio utilizando el Highway Capacity Manual 2010	7
2.1. Estimación del nivel de servicio de las situaciones (con y sin la presencia del proyecto)	7
2.2. Análisis del nivel de servicio (con y sin la presencia del proyecto), considerando un carril por sentido utilizando el “Highway Capacity Manual 2010”.	8
2.3 Análisis del nivel de servicio (con y sin la presencia del proyecto), considerando carriles múltiples utilizando el “Highway Capacity Manual 2010”.	13
3 Estimación del nivel de servicio utilizando el Manual de capacidad vial de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).	19
3.1 Análisis del nivel de servicio (sin y con la presencia del proyecto), considerando un carril por sentido utilizando el Manual de Capacidad Vial de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).	19

3.2. Análisis del nivel de servicio (con y sin la presencia del proyecto), considerando carriles múltiples utilizando el Manual de Capacidad Vial de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).	22
4. Estimación de beneficios	27
4.1. Estimación de los beneficios debidos a los ahorros en costos de operación vehicular.	27
4.1.1 Expresiones de regresión para obtener los factores de ajuste necesarios en el cálculo de los costos de operación vehicular:	28
4.2. Estimación de los beneficios debidos a los ahorros en tiempos de recorrido.	31
5 Estimación de los costos de inversión y mantenimiento.	35
5.1 Costos de inversión a todo lo largo del horizonte económico.	35
5.2. Costos de mantenimiento.	35
6 Estimación de los indicadores de rentabilidad	37
6.1. Valor Presente Neto	37
6.2. Tasa Interna de Retorno	38
6.3. Índice de Rentabilidad	39
6.4 Índice de Rentabilidad Inmediata	40
7 Estimación del monto de la cuota para carreteras de peaje	43
7.1 Tarifa mínima de un proyecto de infraestructura carretera de peaje.	43
7.2 Tarifa óptima de un proyecto de infraestructura carretera de peaje.	44

7.3 Tarifa máxima de un proyecto de infraestructura carretera de peaje.	44
Conclusiones	47
Bibliografía	49

Índice de cuadros

Cuadro 1	Nivel de servicio para carreteras de 2 carriles.	8
Cuadro 2	Factor de ajuste por ancho de carril y acotamiento.	9
Cuadro 3.	Ajuste por número de puntos de acceso por km.	9
Cuadro 4.	Equivalente de pasajeros y buses y para vehículos recreacionales.	11
Cuadro 5.	Factor de ajuste para zonas de no rebase.	12
Cuadro 6.	Ajuste de velocidad en función del ancho de carril.	14
Cuadro 7.	Ajuste de velocidad debido a la distancia libre lateral.	14
Cuadro 8.	Ajuste por tipo de faja separadora.	14
Cuadro 9.	Ajuste de la velocidad debido al número de accesos.	15
Cuadro 10.	Equivalente de vehículos de pasajeros.	16
Cuadro 11.	Nivel de servicio para carreteras con carriles múltiples.	16
Cuadro 12	Factores de hora de máxima demanda para carreteras de dos carriles basados en distribución aleatoria de flujo.	20
Cuadro 13.	Niveles de servicio para análisis generalizado de las carreteras de dos carriles ambas direcciones.	20
Cuadro 14.	Factores de ajuste por distribución direccional en carreteras de dos carriles.	21
Cuadro 15.	Factores de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y de acotamientos en carreteras de dos carriles.	21
Cuadro 16.	Automóviles equivalentes para análisis generalizado de carreteras de dos carriles.	22
Cuadro 17.	Niveles de servicio asociados a la velocidad del proyecto.	23

Cuadro 18.	Factores de ajuste por restricciones en el ancho de carriles y obstáculos laterales en autopistas y en carreteras divididas de carriles múltiples.	24
Cuadro 19.	Automóviles equivalentes para análisis generalizado de segmentos de autopista	24
Cuadro 20.	Valor del tiempo de las personas que viajan por motivo de trabajo y valor del tiempo de las personas que viajan por motivo de placer.	33
Cuadro 21	Costos de mantenimiento y conservación (cifras agosto 2004)	36

Índice de anexos

Anexo 1.	Escenario propuesto	51
Anexo 2.	Resultados relativos a la utilización del “Highway Capacity Manual 2010 del Transportation Research Board (TRB) y al Manual de Capacidad Vial de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), considerando un carril por sentido.	52
Anexo 3.	Resultados relativos a la utilización del “Highway Capacity Manual 2010 del Transportation Research Board (TRB) y al Manual de Capacidad Vial de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), considerando carreteras de carriles múltiples.	53
Anexo 4.	Beneficios debidos a los ahorros en costos de operación vehicular utilizando el Highway Capacity Manual 2010 del Transportation Research Board (TRB), y Beneficios debidos a los ahorros en costos de operación vehicular utilizando el Manual de Capacidad Vial de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).	54
Anexo 5.	Ahorros en tiempo de recorrido utilizando el highway capacity manual 2010 del Transportation Research Board (TRB), y ahorros en tiempo de recorrido utilizando el Manual de Capacidad Vial de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).	56
Anexo 6.	Indicadores de evaluación económica mediante la metodología del análisis costo beneficio utilizando el Highway Capacity Manual 2010 del Transportation Research Board (TRB), e indicadores de evaluación económica mediante la metodología del análisis costo beneficio utilizando el Manual de Capacidad Vial de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).	58

Resumen

Con base en los resultados del presente estudio, se dispondrá de elementos de análisis que podrán ser utilizados para fijar un nivel adecuado de peaje en carreteras de cuota. Se inicia con el análisis del nivel de servicio actual de la carretera con base en un volumen de tránsito dado y el estudio de capacidad correspondiente. Similarmente, se determina el nivel de servicio de la carretera nueva alterna. Así, se determinarían las velocidades de operación del volumen de tránsito a observar una vez puesta en operación la carretera nueva. Después, se procede a estimar los costos de operación y los tiempos de recorrido de ambas alternativas (condiciones sin y con proyecto). Con ambos se estiman los beneficios que se derivan de los ahorros en costos de operación y en tiempos de recorrido, los cuales constituyen insumos para realizar el análisis costo-beneficio desde una óptica económica, estimando los indicadores de rentabilidad económica. Finalmente, se determina (con base en el flujo de beneficios netos) el nivel de cuota que podrá fijarse para los usuarios, cuidando que no se rebasen los beneficios en el horizonte económico considerado. Así no se afecta la dinámica de crecimiento de otras ramas de la actividad económica.

Abstract

Based on the results of this study we can set an appropriate level of tolls on toll roads. We start with the analysis of the service level offered by the current road based on a given traffic volume and the corresponding capacity study. Similarly, the service level of the new road is determined. Thus, we calculate the operating speeds of traffic volume that new road will have. Then we proceed to estimate operating costs and travel times of both alternatives (without and with project conditions). Therefore, we estimate the benefits derived from savings in operating costs and travel times. They are the inputs to the cost-benefit analysis from an economic perspective, estimating the economic profitability indicators. Finally, it is determined (based on the flow of net benefits) the level of fees that may be set for users, ensuring that the benefits are not exceeded on the economic horizon considered. With this principle, we avoid the negative effects on dynamics of growth of other branches of economic activity.

Resumen ejecutivo

En este documento se presentan los análisis realizados para determinar el nivel de peaje que podrá ser establecido en una autopista de cuota, bajo una óptica económica.

Se presenta en primer, lugar el análisis para estimar el nivel de servicio en que se encuentra operando una carretera sin la presencia del proyecto con base en un volumen de tránsito dado y el estudio de capacidad y nivel de servicio en que operaría una carretera nueva alterna, con objeto de obtener las velocidades de operación del volumen de tránsito que se tendrían, una vez puesta en operación la nueva carretera.

Se analizan dos alternativas para la estimación del nivel de servicio y las velocidades asociadas a cada uno de ellos a lo largo del horizonte económico del proyecto.

Por una parte se utiliza la metodología que establece el *Highway Capacity Manual* 2010 y por otra la que establece el Manual de Capacidad Vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Con base en los resultados obtenidos sobre el nivel de servicio y las velocidades de operación asociadas a dichos niveles, se procede a estimar por una parte los costos de operación de ambas alternativas (condiciones sin y con proyecto); por otra los tiempos de recorrido para, así, poder estimar los beneficios que se derivan de los ahorros en costos de operación y en tiempos de recorrido, los cuales constituyen insumos necesarios para realizar el análisis costo-beneficio desde una óptica económica y poder estimar los indicadores de rentabilidad económica.

Para la estimación de los costos de operación vehicular se utilizó la información consignada en la publicación técnica 368 del Instituto Mexicano del Transporte “*Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2012*”

En la estimación de los beneficios por ahorros en tiempo de recorrido se utilizó el valor del tiempo de la publicación técnica 381 del Instituto Mexicano del Transporte “*Actualización de la metodología para estimar el valor del tiempo de los usuarios de la red carretera nacional*”.

Una vez obtenidos los indicadores de rentabilidad económica, se procede a determinar con base en el flujo de beneficios netos el nivel de cuota que podrá fijarse cuidando que este nivel de cuota no rebase dichos beneficios en el

horizonte económico considerado, con objeto de no afectar la dinámica de crecimiento de otras ramas de la actividad económica, es decir guardar el equilibrio en el ámbito económico nacional, para ello se establecieron tres escenarios posibles en el nivel de cuota.

1 Introducción

El estudio forma parte de la línea de investigación “Desarrollo metodológico para la evaluación económica y social de proyectos de transporte”, la cual está vigente en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

México no cuenta con la suficiente capacidad financiera para que el Gobierno Federal lleve a cabo la construcción y modernización de algunas carreteras únicamente con recursos provenientes del presupuesto federal. Es por ello que recurre al sector privado para que, mediante alguno de los esquemas contemplados en la asociación público-privada, pueda continuarse con la construcción de la infraestructura carretera del país.

Se cuenta con diversos proyectos carreteros con gran potencial para ser desarrollados como autopistas de cuota, con participación del sector privado a través de diversos esquemas de participación público-privadas.

Sin embargo, deberá ponerse atención a los métodos empleados en México para el establecimiento de tarifas, con objeto de tomar en consideración los beneficios imputables al usuario, tales como los ahorros de tiempo de recorrido y los ahorros en los costos de operación vehicular.

Esta consideración, como parte de los requerimientos necesarios para la recuperación de la inversión necesaria para llevar a cabo proyectos de infraestructura carretera, permitirá a los analistas llevar a cabo un establecimiento adecuado del nivel de peaje que deben pagar los usuarios de las autopistas. Esto se lograría sin llegar a afectar el excedente del consumidor, el cual se alcanza por los beneficios obtenidos, con lo que podrá seguirse guardando el equilibrio en el resto de las demás ramas de la actividad económica nacional.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) determina la tarifa promedio máxima (TPM), que puede aplicarse a una carretera de cuota, y el concesionario aplica la tarifa por tipo de vehículo más conveniente para el mercado de su autopista.

Para la licitación de la concesión de una autopista de cuota, la SCT establece el nivel inicial de la tarifa promedio máxima en pesos por vehículo estándar/kilometro, sin considerar IVA.

Se entiende por la tarifa promedio máxima observada la que resulte de dividir los ingresos totales del proyecto durante un año entre la suma de los productos de la longitud y la cantidad de vehículos estándar registrados en cada tramo.

Se tienen las equivalencias de vehículos estándar siguientes.

A=1.00

B=1.75

CU=1.75

CA1=2.50

CA2=3.00

Por otra parte, no se debe perder de vista el Valor Presente Neto (VPN) el cual se obtiene del análisis económico realizado como insumo para la evaluación financiera del proyecto. El VPN representa el diferencial actualizado de la serie de ingresos y egresos observados a lo largo del horizonte económico del proyecto (que frecuentemente, es de un máximo de 30 años). Claramente, los ingresos deberán superar a los egresos garantizando la recuperación de la inversión realizada tanto para la construcción como para la conservación de la infraestructura. Sin embargo, se debe poner especial cuidado en que los montos de inversión no lleguen a afectar los beneficios netos del proyecto, ya que si se llega a rebasar este monto, se podrá estar ocasionando un costo adicional al usuario, mismo que, al verse reflejado en la cuota, conllevaría a ocasionar una depresión en otras ramas de la actividad económica.

1.1 Objeto de estudio

El presente trabajo es el resultado de una investigación inscrita dentro de la línea de investigación de Economía de los Transportes. El subtema particular es la evaluación de proyectos de infraestructura carretera y específicamente, se trata proporcionar un conjunto de elementos conceptuales que apoyen a los responsables de la toma de decisiones para estimar adecuadamente el nivel de cuota que deberán pagar los usuarios de una autopista, cuidando guardar el equilibrio con el resto de la actividad económica nacional. Este tema pertenece a una línea de investigación vigente dentro del Instituto Mexicano del Transporte.

La estimación de un nivel de peaje desde una óptica económica, requiere de la determinación de los beneficios debidos a los ahorros en costos de operación vehicular y a los ahorros por tiempo de recorrido que tendrán los usuarios de la misma.

1.2 Justificación

La necesidad de actualizar la metodología existente para determinar el costo óptimo, máximo y mínimo de una autopista de cuota es primordial para el desarrollo de nuevos proyectos carreteros, ya que con este insumo se puede determinar su rentabilidad y promover la inversión público-privada para que más proyectos de infraestructura carretera sean realizados.

La actual metodología no cuenta con la suficiente información para determinar la tarifa óptima tomando consideraciones como el excedente del consumidor. Gracias a la evaluación económica propuesta se pueden hacer evidentes los beneficios que se tendrían al incorporar una nueva carretera a la red carretera nacional, y con esto sustentar la viabilidad de la construcción de este tipo de proyectos, con los cuales se pretende buscar el desarrollo regional analizando previamente las actividades económicas y sociales de las zonas estudiadas.

Este insumo será de gran utilidad para las direcciones generales operativas de la SCT que tienen bajo su responsabilidad llevar a cabo el registro de los proyectos de inversión ante la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, lo cual permite integrar la cartera anual de proyectos de inversión en infraestructura carretera.

La publicación se propuso de tal manera de que se pueda usar el modelo de análisis económico para cualquier zona del país en donde se pretenda incorporar una carretera nueva para comunicar un punto con otro.

Una metodología basada en el costo beneficio, permite, inicialmente, a los autores de este estudio, proporcionar un espectro de opciones que permitan a los analistas de proyectos de inversión en infraestructura para el transporte, contar con elementos de análisis confiables que den certidumbre a los estudios relativos a la justificación económica y financiera de dichos proyectos.

La metodología se llevó a cabo desde una óptica puramente regional o estatal, lo que permite presentar toda una gama de análisis tomando como unidad territorial a cada una de las entidades federativas (región plan).

La metodología utilizada en “Propuesta conceptual para el establecimiento de tarifas en autopistas de cuota”, permitirá a los responsables de la toma de decisiones contar con una herramienta amigable y ágil para estimar la tarifa máxima, óptima y mínima que se deben de considerar en los proyectos de infraestructura carretera nuevos.

Esta propuesta conceptual toma en cuenta el cálculo de los indicadores de rentabilidad necesarios en la conformación de los programas de corto, mediano y largo plazos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

El estudio tiene por objetivo fundamental, crear una propuesta conceptual para determinar el nivel óptimo del peaje de una autopista de cuota, bajo diferentes escenarios de tránsito y para diferentes composiciones vehiculares y de esta manera asegurar la recuperación de la inversión sin afectar otras ramas de la actividad económica nacional.

1.3.2 Objetivos particulares

Como objetivos particulares se tienen los siguientes:

- Con base en el estudio Costo- Beneficio determinar los beneficios totales de construir una nueva carretera y así determinar el costo del peaje de ésta para recuperar la inversión.
- Encontrar una expresión matemática para determinar la cuota de una nueva carretera tomando en cuenta los beneficios obtenidos mediante el valor del tiempo y los costos de operación.
- Comparar las carreteras actuales con la nueva carretera, para analizar su evolución con respecto al tiempo.

1.4 Metodología

Para la realización de este estudio, se tomarán en cuenta varias situaciones, con las cuales se pretende justificar hacer una carretera nueva. Al proponer una carretera nueva los tiempos de recorrido mejorarán en todas las situaciones adversas del proyecto. Así, al mejorar el tiempo de recorrido en las diferentes situaciones se tendrán beneficios en el valor del tiempo ahorrado, así como en menores costos de operación vehicular. Cabe señalar que dichos costos se calcularán a partir de la nota No 136, “Estimación del Valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2012” y de la publicación técnica No 368, “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2012”, respectivamente.

De esta manera, se calculan los beneficios correspondientes, para lo cual se planea realizar un estudio Costo- Beneficio, con un horizonte de proyecto de 30 años, determinando así el Valor Presente Neto de toda la obra y de las diferentes situaciones. Finalmente, con este Valor Presente Neto, se calculará un Costo Anual Equivalente, con el cual se obtendrá el peaje por vehículo estándar y a su

vez, se tomarán las equivalencias correspondientes para determinar la CUOTA en la carretera para cada tipo de vehículo.

Como punto de partida se analizará mediante dos formas el nivel de servicio en el que se encuentra operando la carretera en condiciones actuales y en condiciones con la presencia del proyecto de la carretera nueva.

La primera forma en que se estimará el nivel de servicio en que se encuentra operando la carretera sin la presencia del proyecto será utilizando el documento denominado *Highway Capacity Manual 2010*¹, posteriormente mediante una asignación potencial de tránsito al nuevo proyecto se estimará el nivel de servicio en el que operara en un horizonte económico de 30 años.

Como segunda opción se hará la estimación del nivel de servicio en la situación actual (situación sin proyecto) y la situación deseada o futura (situación con proyecto) utilizando el Manual de Capacidad Vial editado por la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT².

A partir de la determinación del Nivel de Servicio para ambas posibilidades se le asociará la velocidad de operación que corresponda a dicho nivel de servicio, con la información que se obtiene para todo el horizonte económico del proyecto. Con la estimación del nivel de servicio y su velocidad asociada (estimación realizada con los dos procedimientos propuestos) se determinarán los costos de operación vehicular en las dos situaciones (sin proyecto y con proyecto) así como los tiempos de recorrido para la composición vehicular establecida.

¹ Transportation Research Board (TRB) "Highway Capacity Manual 2010"

² Dirección General de Servicios Técnicos, SCT "Manual de Capacidad Vial", México D.F. 1991.

2. Estimación del nivel de servicio utilizando el Highway Capacity Manual 2010

Con base en el manual “*Highway Capacity 2010*”, se consideró calcular el nivel de servicio para las siguientes alternativas:

- Carretera de dos carriles
- Carretera de cuatro carriles
- Carretera de carriles múltiples.

Es conveniente mencionar que el nivel de servicio se estimó para tres situaciones:

A).- Tomar en consideración el volumen total de vehículos que circula por la carretera que actualmente se encuentra en operación con objeto de conocer los tiempos de recorrido y los costos de operación en la condición actual o sin proyecto.

B).- Posteriormente, con base en el tránsito potencial que se pretende desviar al proyecto nuevo (condición futura o situación con proyecto), se determinará su nivel de servicio para esta condición con objeto de estimar los tiempos de recorrido y los costos de operación vehicular para el volumen de tránsito que circulará potencialmente por la obra nueva.

C).- Por otra parte, se obtendrá el nivel de servicio que tendrá la carretera actual, una vez que se haya desviado parte del tránsito original a la carretera nueva, pues al disminuir el volumen de tránsito las condiciones de operación serán mejores en la actual carretera, ante la entrada en operación de una ruta alterna.

2.1. Estimación del nivel de servicio de las situaciones (con y sin la presencia del proyecto)

Con base en el manual de capacidad de carreteras “*Highway Capacity Manual 2010*”, se procede a estimar el nivel de servicio en que se encuentra operando la carretera actualmente (situación actual o sin proyecto), Se toma en consideración el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), con su composición vehicular correspondiente y a partir de éste se estima el volumen horario de máxima

demanda que se requiere como insumo para obtener el volumen de servicio con que cuenta la carretera actual.

En análisis de carreteras para el manual “*Highway Capacity Manual 2010*” se tienen diferentes metodologías para analizar una carretera éstas se dividen según las características de la carretera que pueden variar en el análisis de uno, dos o más carriles por sentido.

2.2 Análisis del nivel de servicio (con y sin la presencia del proyecto), considerando un carril por sentido, utilizando el “*Highway Capacity Manual 2010*”.

Existen tres tipos de carreteras de dos carriles (I, II, III) con las cuales se calcula el nivel de servicio de diferentes maneras, en el cuadro 1 se muestra una comparativa de lo necesario para determinar el nivel de servicio en cada una de éstas, en este mismo cuadro se explican las características de las diferentes clases de carreteras asociadas a su nivel de servicio.

Cuadro 1. Nivel de servicio para carreteras de 2 carriles.

	CARRETERAS DE CLASE I		CLASE II	CLASE III
	VEL PROM km/h	TIEMPO DE SEGUIMIENTO (%)	TIEMPO DE SEGUIMIENTO (%)	% DE VELOCIDAD DE FLUJO LIBRE
NS				
A	88	35	40	91.7
B	80-88	35-50	40-55	83.3-91.7
C	72-80	50-65	55-70	75.0-83.3
D	64-72	65-80	70-85	66.7-75.0
E	64	80	85	66.7

Para comparar las características del cuadro anterior se aplica el procedimiento siguiente comenzando por determinar la velocidad de flujo libre con la siguiente expresión:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad (1)$$

Donde

FFS= Velocidad de flujo libre estimada en (Km/h)

BFFS= Velocidad de flujo base (km/h)

f_{LS} =Ajuste por ancho de carril y acotamiento (Km/h)

f_A =Ajuste por densidad de puntos de acceso.

En el cuadro 2 se muestra el factor de ajuste por ancho de carril y ancho de acotamiento el cual se requiere en la ecuación 1.

Cuadro 2. Factor de ajuste por ancho de carril y acotamiento.

ancho de carril (m)	Acotamiento (m)			
	0 > 0.6	0.6 < 1.2	1.2 < 1.8	> 1.8
2.7 < 3	10.3	7.7	5.6	3.5
> 3 < 3.3	8.5	5.9	3.8	1.7
> 3.3 < 3.6	7.5	4.9	2.8	0.7
> 3.6	6.8	4.2	2.1	0

El factor de ajuste por densidad de puntos de acceso se obtiene del cuadro 3, el cual es utilizado en la ecuación 1.

Cuadro 3. Ajuste por número de puntos de acceso por Km.

Puntos de acceso por km	reducción en FFS en km/h
0	0
6	4
12	8
18	12
24	16

La velocidad promedio de viaje se determina con la velocidad de flujo libre tomada de la ecuación 1 y se determina con la siguiente ecuación 2.

$$ATS_d = FFS - 0.00776(V_{d,ATS} + V_{o,ATS}) - f_{np,ATS} \quad (2)$$

Dónde:

ATS_d = Velocidad promedio de viaje en la dirección de análisis (Km/h)

FFS = Velocidad de flujo libre (Km/h)

$V_{d,ATS}$ = Tasa de flujo para ATS determinado en la dirección de análisis (vl/h)

$V_{o,ATS}$ = Tasa de flujo para ATS determinado en dirección opuesta al análisis (vl/h)

$F_{np,ATS}$ = Factor de ajuste para ATS de acuerdo a las zonas de no rebase en la dirección de análisis.

Con la velocidad promedio de viaje se puede obtener el nivel de servicio de las carreteras de dos carriles tipo "I".

Para determinar el nivel de servicio de las carreteras tipo "II" se parte de la siguiente expresión 3 que es la obtención de la tasa de flujo.

$$v_{i,ATS} = \frac{V_i}{PHF * f_{g,ATS} * f_{HV,ATS}} \quad (3)$$

Donde:

$v_{i,ATS}$ = tasa de flujo estimada para ATS i (vl/h).

i = "d" (análisis en una dirección) o "o" (dirección opuesta).

V = volumen Horario por dirección i (veh/h).

PHF = factor de hora pico.

$f_{g,ATS}$ = factor de ajuste por pendiente.

$f_{HV,ATS}$ = factor de ajuste por vehículos pesados.

El factor de hora pico representa la variación del flujo vehicular en una hora. En carreteras de dos carriles el análisis es basado en una tasa de flujo para un periodo de 15 minutos dentro de la hora pico. El PHF debe ser medido en campo o se utilizará el valor de 1.0.

Una variable en la ecuación para determinar la tasa de flujo es el factor de ajuste por vehículos pesados, el cual se determinó con la siguiente formula.

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (4)$$

Donde:

E_T, E_R =Equivalente en vehículos de pasajeros para camiones, buses y para vehículos recreacionales respectivamente.

P_T, P_R =Proporción de camiones, buses y vehículos recreacionales respectivamente, en el flujo vehicular, expresado como decimal.

f_{hv} =Factor de ajuste por vehículos pesados

El equivalente en vehículos de pasajeros y buses y para vehículos recreacionales se obtienen con el cuadro 4.

Cuadro 4. Equivalente de pasajeros y buses y para vehículos recreacionales

Vehicle Type	Directional Demand Flow Rate, v_{veh} (veh/h)	Level Terrain and	
		Specific Downgrades	Rolling Terrain
Trucks, E_T	≤100	1.9	2.7
	200	1.5	2.3
	300	1.4	2.1
	400	1.3	2.0
	500	1.2	1.8
	600	1.1	1.7
	700	1.1	1.6
	800	1.1	1.4
	≥900	1.0	1.3
RVs, E_R	All flows	1.0	1.1

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Se determina el porcentaje de tiempo empleado en seguimiento con la ecuación 5.

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right) \quad (5)$$

Donde:

$PTSF_d$ =Porcentaje de tiempo empleado en seguimiento para la dirección de análisis, en decimal.

$BPTSF_d$ =Porcentaje base de tiempo empleado en seguimiento en la dirección de análisis.

$f_{np,PTSF}$ =Factor de ajuste de zonas de no rebase para PTSF en el segmento de análisis.

$v_{d,PTSF}$ =Tasa de flujo en la dirección de análisis para el PTSF(vl/h)

$v_{o,PTSF}$ =Tasa de flujo en la dirección opuesta al análisis para el PTSF(vl/h).

Para determinar el tiempo empleado en seguimiento, es necesario determinar el tiempo empleado en seguimiento base, el cual se obtiene con la ecuación 6.

$$BPTSF = 100[1 - \exp(-0.000879Vi)] \quad (6)$$

Donde:

$BPTSF$ =Porcentaje base de tiempo empleado en seguimiento en la dirección de análisis.

Vi =Tasa de flujo

Con el tiempo empleado en seguimiento es posible determinar el nivel de servicio en carreteras de 2 carriles de clase I y II.

El factor de ajuste para zonas de no rebase se obtiene del cuadro 5.

Cuadro 5. Factor de ajuste para zonas de no rebase

FLUJO EN DOS DIRECCIONES DOS DIRECCIONES	% DE ZONAS DE NO REBASE					
	0	20	40	60	80	100
DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL50/50						
200	0	10.1	17.2	20.2	21	21.8
400	0	12.4	19	22.7	23.8	24.8
600	0	11.2	16	18.7	19.7	20.5
800	0	9	12.3	14.1	14.5	15.4
1400	0	3.6	5.5	6.7	7.3	7.9
2000	0	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
2600	0	1.1	1.6	2	2.3	2.4
3200	0	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4
DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL60/40						
200	1.6	11.8	17.2	22.5	23.1	23.7
400	0.5	11.7	16.2	20.7	21.5	22.2
600	0	11.5	15.2	18.9	19.8	20.7
800	0	7.6	10.3	13	13.7	14.4
1400	0	3.7	5.4	7.1	7.6	8.1
2000	0	2.3	3.4	3.6	4	4.3
2600	0	0.9	1.4	1.9	2.1	2.2
DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL70/30						
200	2.8	13.4	19.1	24.8	25.2	25.5
400	1.1	12.5	17.3	22	22.6	23.2
600	0	11.6	15.4	19.1	20	20.9
800	0	7.7	10.5	13.3	14	14.6
1400	0	3.8	5.6	7.4	7.9	8.3
2000	0	1.4	4.9	3.5	3.9	4.2
DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL80/20						
200	5.1	17.5	24.3	31	31.3	31.6
400	2.5	15.8	21.5	27.1	27.6	28
600	0	14	18.6	23.2	23.9	24.5
800	0	9.3	12.7	16	16.5	17
1400	0	4.6	6.7	8.7	9.1	9.5
2000	0	2.4	3.4	4.5	4.7	4.9
DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL90/10						
200	5.6	21.6	29.4	37.2	37.4	37.6
400	2.4	19	25.6	32.2	32.5	32.8
600	0	16.3	21.8	27.2	27.6	28
800	0	10.9	14.8	18.6	19	19.4
1400	0	5.5	7.8	10	10.4	10.7

La expresión para determinar el nivel de servicio en las carreteras de dos carriles tipo III, se requiere el porcentaje de la velocidad de flujo libre el cual se obtiene de la ecuación 7.

$$PFFS = \frac{ATS_d}{FFS} \quad (7)$$

Dónde:

ATS= Velocidad promedio de viaje

FFS= Velocidad de flujo libre.

Los resultados obtenidos de promedio de velocidad de viaje, Porcentaje de tiempo empleado en seguimiento y el porcentaje de la velocidad de flujo libre se comparan con los datos del cuadro 1 para así obtener el nivel de servicio de la carretera sin proyecto.

2.3 Análisis del nivel de servicio (con y sin la presencia del proyecto), considerando carriles múltiples utilizando el “Highway Capacity Manual 2010”.

Para calcular el nivel de servicio en carreteras de carriles múltiples es necesario conocer la velocidad de flujo libre.

La velocidad a flujo libre, es la velocidad media de los vehículos ligeros, medida durante flujos bajos a moderados hasta 1,000 vehículos ligeros/hora/carril.

La velocidad de flujo libre (FFS) puede ser determinada por medición directa en campo o por estimación indirecta a partir de una velocidad a flujo libre base.

La primera se realiza en un segmento representativo en las horas con flujos bajos o moderados, midiendo velocidades de al menos 100 vehículos, tomados indistintamente en todos los carriles.

En el segundo caso, es posible estimarla a partir de la velocidad a flujo libre base BFFS que debe ser ajustada para tener en cuenta las características reales del segmento (ancho de carril, distancia libre lateral derecha y densidad de total de rampas).

La velocidad de flujo libre se obtiene de la siguiente ecuación.

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A \quad (8)$$

Donde:

BFFS= Velocidad de flujo libre base.

f_{LW} = Factor de ajuste por ancho de carril.

f_{LC} =Factor de ajuste por distancia libre lateral

f_M = Factor de ajuste por tipo de faja separadora.

F_a =Ajuste por puntos de acceso.

f_{LW} = Factor de ajuste por ancho de carril.

f_{LW} = Factor de ajuste asociado al ancho de carril, este factor se determina dependiendo del ancho de carril de la vía de acuerdo a los valores que se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6. Ajuste de velocidad en función del ancho de carril.

ANCHO DE CARRIL	REDUCCIÓN Km/h
3.6	0
3.5	1
3.4	2.1
3.3	3.1
3.2	5.6
3.1	8.1
3	10.6

f_{LC} = Factor de ajuste por distancia libre lateral. Este factor se determina a partir de la distancia correspondiente a la suma de la distancia que existe a los obstáculos laterales a partir de cada uno de los hombros de vía. Si la distancia de cada uno de los hombros al obstáculo lateral es mayor de 1.8 m se debe considerar este valor, es decir la suma de la distancia a ambos lados no excederá de 3.6 m, tal y como se muestra en el cuadro 7.

La reducción de velocidad estará en función del número de carriles con que cuente la vía.

Cuadro 7. Ajuste de velocidad debido a la distancia libre lateral.

4 CARRILES		6 CARRILES	
DISTANCIA LATERAL (m)	REDUCCIÓN Km/h	DISTANCIA LATERAL (m)	REDUCCIÓN Km/h
3.6	0	3.6	0
3	0.6	3	0.6
2.4	1.5	2.4	1.5
1.8	2.1	1.8	2.1
1.2	3	1.2	2.7
0.6	5.8	0.6	4.5
0	8.7	0	6.3

f_M = Factor de ajuste en la velocidad por tipo de faja separadora. Este factor depende del elemento que separa ambos sentidos de circulación de la vía, como se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Ajuste por tipo de faja separadora.

TIPO DE SEPARACIÓN	REDUCCIÓN EN Km/h
CARRETERAS SIN SEPARACIÓN	2.6
CARRETERAS DIVIDIDAS	0

F_a =Ajuste por puntos de acceso. La reducción de velocidad para este caso, toma en consideración el número de accesos por kilómetro que tiene la vialidad. La

magnitud de dicha reducción está en función de la cantidad de accesos identificados de acuerdo a los valores que se consignan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Ajuste de la velocidad debido al número de accesos.

PUNTOS DE ACCESO POR Km	REDUCCIÓN EN Km/h
0	0
6	4
12	8
18	12
24	16

Después de estimar la velocidad de flujo libre, se determina la tasa de flujo con la fórmula 9.

$$V_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p} \quad (9)$$

Donde:

V_p = Tasa de flujo equivalente en condición base (veh/h/carril)

V = Volumen horario (veh/h)

PHF = Factor de hora pico

N = Número de carriles

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados

f_p = Factor de ajuste por tipo de conductor

Factor de Hora Pico

Este factor representa la variación del flujo vehicular en una hora, en carreteras de carriles múltiples el rango típico del PHF es de 0.75 a 0.95. PHF más bajos son característicos de carreteras rurales. PHF más altos, corresponden a condiciones urbanas.

Ajuste por vehículos pesados

El factor de ajuste por vehículos pesados se determina con la ecuación 10.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (10)$$

Donde:

E_T , E_R = Equivalente en vehículos de pasajeros para camiones y buses y para vehículos recreacionales respectivamente, por tipo de terreno, cuya equivalencia se muestra en el cuadro 10.

PT, PR = Proporción de camiones y buses, y vehículos recreacionales respectivamente, expresado en forma decimal.

fHV = Factor de ajuste por vehículos pesados.

Cuadro 10. Equivalente de vehículos de pasajeros.

FACTOR	PLANO	LOMERIO	MONTAÑOSO
ET	1.5	2.5	4.5
ER	1.2	2	4

Fp = Este factor se refiere a la influencia de la población conductora, ya que los conductores cotidianos conducen con mayor eficiencia en las carreteras que aquellos que no están familiarizados con ella. El valor oscila entre 0.85 y 1.00 en la mayoría de los casos.

Cuando no existe evidencia documentada sobre este valor, se emplea usualmente el valor de 1.00 para el análisis de capacidad vial.

Una vez estimadas la velocidad de flujo libre y la tasa de flujo, y con apoyo en el cuadro 11, es posible determinar el nivel de servicio en el cual se encuentra operando la carretera en estudio.

Cuadro11.Nivel de servicio para carreteras con carriles múltiples.

FFS	CRITERIO	A	B	C	D	E
100Km/h	DENSIDAD	7	11	16	22	25
	VEL. PROM.	100	100	98.4	91.5	88
	VP	700	1100	1575	2015	2200
90Km/h	DENSIDAD	7	11	16	22	26
	VEL. PROM.	90	90	89.8	84.7	80.8
	VP	630	990	1435	1860	2100
80Km/h	DENSIDAD	7	11	16	22	27
	VEL. PROM.	80	80	80	77.6	74.1
	VP	560	880	1280	1705	2000
70Km/h	DENSIDAD	7	11	16	22	28
	VEL. PROM.	70	70	70	69.6	67.9
	VP	490	770	1120	1530	1900

Al determinar el nivel de servicio, es posible conocer la velocidad de operación promedio en que está operando la vía. Dicha velocidad es la que se utiliza para estimar los tiempos de recorrido y los costos de operación del flujo usuario. Al comparar los tiempos de recorrido y los costos de operación entre las alternativas con proyecto y sin proyecto, es posible estimar los beneficios debidos a los ahorros en tiempo, así como de los relativos a los costos de operación vehicular.

Este proceso debe repetirse de forma iterativa, a lo largo del horizonte económico del proyecto, con objeto de estimar el flujo de beneficios que deberán considerarse en la estimación de los indicadores de rentabilidad económica.

Bajo este escenario, es posible determinar tres niveles de cuota: 1) Cuota mínima, la cual se refiere a la cuota que es necesario establecer al volumen de tránsito usuario de la nueva ruta para recuperar el costo de inversión y de mantenimiento, 2) cuota óptima, es decir, aquella que permite la recuperación de la inversión y los costos de mantenimiento con base en los beneficios obtenidos por el volumen de tránsito usuario de la nueva vía ; es decir que el valor presente neto obtenido por dicho volumen de tránsito no exceda el nivel de cuota que llegue a establecerse en la nueva vía, y 3) Cuota máxima, es aquella que se establece con base en el valor presente neto obtenido al considerar los beneficios totales de los usuarios de ambas condiciones, es decir los beneficios obtenidos por los usuarios de la nueva vía y de los que obtienen los usuarios que permanecen en la situación actual o inicial bajo el efecto de la descongestión.

3. Estimación del nivel de servicio utilizando el Manual de capacidad vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Con base en el manual de capacidad vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), se determina el nivel de servicio en que se encuentra operando la carretera actualmente (situación actual o sin proyecto). Se toma en consideración el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), con su composición vehicular correspondiente, y a partir de éste se estima el volumen horario de máxima demanda, mismo que constituye el insumo para obtener el volumen de servicio con que cuenta la carretera actual, el cual permitirá determinar el nivel de servicio en que se encuentra operando dicha carretera.

Al igual que en el caso anterior (*Highway Capacity Manual 2010*), al utilizar el manual de capacidad vial editado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), se cuenta con varios escenarios de análisis, los cuales consideran uno, dos o más carriles por sentido de circulación.

3.1. Análisis del nivel de servicio (sin y con la presencia del proyecto), considerando un carril por sentido utilizando el Manual de capacidad vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Para determinar el nivel de servicio se parte de la siguiente expresión:

$$(VS)_i = C \frac{V}{C} fD fA fP fVP \quad (11)$$

Donde:

$(VS)_i$ = Volumen de servicio para el nivel de servicio i , en vph en ambos sentidos de circulación. Este volumen de servicio puede convertirse a volumen multiplicando por el factor de hora de máxima demanda. Cuando no se conoce este factor, puede utilizarse los valores del cuadro 12.

Cuadro 12. Factores de hora de máxima demanda para carreteras de dos carriles basados en distribución aleatoria de flujo.

VPH AMBAS DIRECCIONES		FHMD
100		0.83
200		0.87
300		0.9
400		0.91
500		0.91
600		0.92
700		0.92
800		0.93
900		0.93
1000		0.93
1100		0.94
1200		0.94
1300		0.94
1400		0.94
1500		0.95
1600		0.95
1700		0.95
1800		0.95
≥1900		0.96

NS	FHMD
A	0.91
B	0.92
C	0.94
D	0.95
E	1

C = Capacidad en condiciones ideales en ambas direcciones (2800 vph).

(V/C)_i = Máxima relación Volumen/Capacidad Asociada al nivel de servicio i. Se obtiene del cuadro 13, cuando el análisis es generalizado, esto es cuando se consideran tramos largos de carretera con características más o menos uniformes o cuando se analizan tangentes con pendientes menores de 3% o con longitudes menores de 800 m.

Cuadro 13. Niveles de servicio para análisis generalizado de las carreteras de dos carriles en ambas direcciones.

TIPO DE TERRENO	NS	DP (a)	VEL (b)	(c)										
				RELACION V/C PARA CARRETERAS CON LONGITUD DE REBASE										
				RESTRINGIDO EN % :										
				0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
PLANO	A	30	93	0.15	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04
	B	45	88	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16
	C	60	83	0.43	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32
	D	75	80	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.60	0.59	0.59	0.58	0.58	0.57
	E	90	72	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	F	100		(d)										
LOMERIO	A	30	91	0.15	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03
	B	45	86	0.26	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
	C	60	82	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28
	D	75	78	0.62	0.60	0.57	0.55	0.52	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43
	E	90	64	0.97	0.96	0.94	0.93	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90
	F	100		(d)										
MONTAÑOSO	A	30	90	0.14	0.12	0.09	0.08	0.07	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
	B	45	86	0.25	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.13	0.13	0.12	0.10
	C	60	78	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.22	0.20	0.18	0.16
	D	75	72	0.58	0.54	0.50	0.48	0.45	0.43	0.40	0.39	0.37	0.35	0.33
	E	90	56	0.91	0.89	0.87	0.86	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78
	F	100		(d)										

FD= Factor de ajuste por efecto de la distribución direccional. Se obtiene del cuadro 14.

Cuadro 14. Factores de ajuste por distribución direccional en carreteras de dos carriles.

Factor de ajuste por distribución direccional en carreteras de dos carriles		
Distribución direccional	A. Generalizado	A. Tang. Especificas
100 0	0.71	0.58
90 10	0.75	0.64
80 20	0.83	0.7
70 30	0.89	0.78
60 40	0.94	0.87
50 50	1	1
40 60		1.2
30 70		1.5

FA= Factor de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y acotamientos o distancia a obstáculos laterales. Se obtiene del cuadro 15.

Cuadro 15. Factores de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y de acotamientos en carreteras de dos carriles.

Ancho de acotamiento	ANCHO DE CARRIL, EN M Y NIVEL DE SERVICIO							
	3.5		3.3		3		2.7	
	A-D	E	A-D	E	A-D	E	A-D	E
1.8	1	1	0.93	0.94	0.84	0.87	0.7	0.76
1.2	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
0.6	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.7
0	0.7	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

Fp= Factor de ajuste por efecto sobre los automóviles de la pendiente en tangentes verticales. Es igual a uno, si el análisis es generalizado

Fvp= Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados. Para análisis generalizados se obtiene de la siguiente expresión.

$$fVP = (Pp + PcEc + PrEr + PbEb)^{-1} \quad (9)$$

Donde:

Pp, Pc, Pr y Pb = las proporciones de automóviles, camiones, vehículos recreativos y autobuses.

Ec, Er y Eb = Los automóviles equivalentes respectivos, que se obtienen del cuadro 16.

Cuadro 16. Automóviles equivalentes para análisis generalizado de carreteras de dos carriles.

Tipo de Vehículo	Simbolo	NS	Plano	Lomerio	Montañoso
Camión	EC	A	2	4	7
		B-C	2.2	5	10
		D-E	2	5	12
Recreacional	ER	A	2.2	3.2	5
		B-C	2.5	3.9	5.2
		D-E	1.6	3.3	5.2
Autobus	EB	A	1.8	3	5.7
		B-C	2	3.4	6
		D-E	1.6	2.9	6.5

Con el cuadro 16 se obtiene el nivel de servicio para la carretera deseada.

Al obtener el volumen VSi para cada uno de los niveles de servicio, es posible comparar el volumen de máxima demanda (VDM) y encontrar el nivel de servicio en el cual se encuentra operando la carretera en análisis.

A cada nivel de servicio se encuentra asociada la velocidad de operación por tipo de terreno. Con esta velocidad de operación se estima un IIR para poder calcular los costos de operación vehicular y el tiempo de recorrido del tránsito usuario, mismos que constituyen los insumos necesarios para realizar el análisis costo-beneficio de la evaluación económica de proyectos.

3.2 Análisis del nivel de servicio (con y sin la presencia del proyecto), considerando carriles múltiples utilizando el Manual de capacidad vial de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Al igual que para el caso de carreteras de dos carriles de circulación (un carril por sentido), en carreteras de dos o más carriles por sentido de circulación, será necesario obtener el nivel de servicio en que se encuentran operando, para ello se debe partir de la estimación del volumen de servicio en que opera la vía en condiciones actuales o sin proyecto y en el que operaría en condiciones futuras (con la presencia del proyecto).

Con base en lo anterior es necesario estimar el volumen de servicio para cada uno de los niveles de servicio.

La expresión básica para el análisis de este tipo de carreteras es:

$$V_{si} = C (v/c) N f_a f_c f_{vp} \quad (10)$$

Donde:

V_{si} = Volumen de servicio por sentido para el nivel de servicio i , en vph. Este volumen de servicio puede convertirse a volumen de proyecto, multiplicándolo por el factor de hora de máxima demanda.

C = Capacidad por carril en condiciones ideales es de 2000 automóviles por hora por carril (aphpc) para velocidades de proyecto de 90 km/h o mayores y de 1900 aphpc para velocidades menores.

(v/c) = Máxima relación volumen/Capacidad asociada al nivel de servicio i , el cual se obtiene del cuadro 17.

Cuadro 17. Niveles de servicio asociados a la velocidad del proyecto.

Nivel de serv.	D	VELOCIDAD DE PROYECTO EN KM/H					
		110		100-90		80	
		V	V/C	V	V/C	V	V/C
A	8	95	0.36	95	0.36	95	0.36
B	13	90	0.6	79	0.52	79	0.52
C	19	84	0.8	74	0.7	68	0.68
D	27	70	0.95	66	0.86	61	0.86
E	42	48	1	48	1	48	1
F							

N = Número de carriles por sentido.

f_A = Factor de ajuste por restricciones en el ancho de carriles y obstáculos laterales. Este factor se obtiene del cuadro 18.

Cuadro 18. Factores de ajuste por restricciones en el ancho de carriles y obstáculos laterales en autopistas y en carreteras divididas de carriles múltiples.

N ambos sentidos	distancia libre lateral	obstaculos en un lado, anchos de carril, en m				obstaculos en un lado, anchos de carril, en m			
		3.5	3.3	3	2.7	3.5	3.3	3	2.7
4	1.8	1	0.97	0.91	0.81	1	0.97	0.91	0.81
	1.5	0.99	0.96	0.9	0.8	0.99	0.96	0.9	0.8
	1.2	0.99	0.96	0.9	0.8	0.98	0.95	0.89	0.79
	0.9	0.98	0.95	0.88	0.79	0.96	0.93	0.87	0.77
	0.6	0.97	0.94	0.88	0.79	0.94	0.91	0.86	0.76
	0.3	0.93	0.9	0.85	0.76	0.87	0.85	0.8	0.71
	0	0.9	0.87	0.82	0.73	0.81	0.79	0.74	0.66
6 a 8	1.8	1	0.96	0.89	0.78	1	0.96	0.89	0.78
	1.5	0.99	0.95	0.88	0.77	0.99	0.95	0.88	0.77
	1.2	0.99	0.95	0.88	0.77	0.98	0.94	0.87	0.77
	0.9	0.98	0.94	0.87	0.76	0.97	0.93	0.86	0.76
	0.6	0.97	0.93	0.87	0.76	0.96	0.92	0.85	0.75
	0.3	0.95	0.92	0.86	0.75	0.93	0.89	0.83	0.72
	0	0.94	0.91	0.85	0.74	0.91	0.87	0.81	0.7

F_c = Factor de ajuste por efecto de los conductores. Es de 1.00 cuando están familiarizados con la autopista; en caso contrario varía entre 0.90 y 0.75.

f_{VP} = Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados. Se calcula con la expresión

$$f_{vp} = \frac{1}{1+PC(EC-1)+PB(EB-1)+PR(ER-1)} \quad (11)$$

Donde:

PC, PB Y PR son las proporciones de camiones, autobuses y vehículos recreativos, y EC, EB Y ER los respectivos automóviles equivalentes, cuyos valores se obtienen del cuadro 19.

Cuadro 19. Automóviles equivalentes para análisis generalizado de segmentos de autopista

Tipo de Vehículo	Símbolo	Terreno		
		Plano	Lomerio	Montañoso
Camión	Ec	1.7	4	8
Autobus	Eb	1.5	3	5
Recreativo	Er	1.6	3	4

El volumen de máxima demanda se obtiene utilizando la expresión 12

$$VDM = \frac{V}{FHMD} \quad (12)$$

En donde VDM es el volumen de máxima demanda en vph

V= volumen horario

FHMD= Factor de hora de máxima demanda.

Una vez estimado el VDM se procede a obtener la relación v/c con la expresión (13)

La relación v/c se encuentra asociada a la velocidad y al nivel de servicio tal y como se muestra en el cuadro 17,

$$\frac{v}{c} = \frac{VDM}{C \times N \times f_A \times f_C \times f_{VP}} \quad (13)$$

Y con el cuadro 17 se determina el nivel de servicio y la velocidad.

Otra forma de encontrar el nivel de servicio y las velocidades a que se encuentran operando los tramos carreteros en estudio, es a partir de la determinación del VS_i, con la expresión (10), mismos que permitirán conocer qué nivel y velocidad de operación tiene el VDM.

4. Estimación de beneficios

Los beneficios inherentes a la construcción de infraestructura carretera alterna a la existente, se obtienen mediante la estimación de los beneficios debidos a los ahorros en costos de operación vehicular y a lo derivados de los ahorros en tiempo de recorrido de los usuarios (pasajeros) de dicha infraestructura.

Para la estimación de los costos de operación vehicular se recurre a la estimación hecha en el IMT en la publicación técnica N°. 368 “COSTOS DE OPERACIÓN BASE DE LOS VEHÍCULOS REPRESENTATIVOS DEL TRANSPORTE INTERURBANO 2012” (Arroyo, et al. 2012).

Para cuantificar los beneficios por ahorros en tiempo de recorrido se utilizó la metodología desarrollada en el IMT, publicación técnica N° 381 “ACTUALIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA ESTIMAR EL VALOR DEL TIEMPO DE LOS USUARIOS DE LA RED CARRETERA NACIONAL”, (Torres G., Hernández S. y Ruvalcaba J. 2012).

4.1 Estimación de los beneficios debidos a los ahorros en costos de operación vehicular.

Una vez que se conocen las velocidades de operación de las alternativas actual (sin proyecto) y nueva (con proyecto) en todo el horizonte económico, se procede a estimar los costos de operación vehicular bajo tres escenarios: a) Con el TDPA total, en la situación actual o situación sin proyecto, b) con el TDPA que se desvía a la condición futura o con proyecto (TDPA1); y c) con el TDPA2 que representa la diferencia TDPA-TDPA1 que permanece en la situación sin proyecto.

Para estimar los ahorros en los costos de operación vehicular se procede de la siguiente manera: ahorros en costo de operación del TDPA total en la situación sin proyecto. Con las velocidades obtenidas se asocia un IIR equivalente a dicha velocidad y en función de la composición vehicular se obtiene el factor de ajuste por tipo de vehículo y por tipo de terreno, para obtener el costo de operación a partir del costo de operación base de cada vehículo. Este costo de operación representa el costo de operación unitario por kilómetro.

En forma semejante se obtiene el costo de operación unitario por kilómetro para el TDPA1, es decir el tránsito que se desvía a la nueva carretera, conforme a la composición vehicular que presenta dicho tránsito.

Además, se obtiene también el costo de operación del TDPA2 es decir en la condición en que el flujo vehicular (TDPA-TDPA1) permanece en la alternativa sin proyecto al desviarse a la carretera nueva (situación con proyecto) el TDPA1, con su respectiva composición vehicular.

Posteriormente, se procedió a realizar ejercicios de regresión para obtener el factor de ajuste de los costos de operación base para los distintos tipos de vehículo y una vez determinado el costo de operación para los distintos escenarios se procedió a obtener los ahorros en costos de operación del flujo vehicular que se desvía a la carretera nueva y de aquel que permanece al descongestionarse la situación actual o sin proyecto. Es decir, los beneficios totales constituyen la suma de los ahorros del TDPA1 y del TDPA2.

4.1.1 Expresiones de regresión para obtener los factores de ajuste necesarios en el cálculo de los costos de operación vehicular:

Al obtener las velocidades con proyecto y sin proyecto, se determinó el costo de operación vehicular por cada tipo de vehículo, afectando al costo base por un factor de ajuste tomado de una regresión de las diferentes gráficas de la publicación técnica No 368 "COSTOS DE OPERACIÓN BASE DE LOS VEHÍCULOS REPRESENTATIVOS DEL TRANSPORTE INTERURBANO 2012", obteniendo las siguientes ecuaciones:

Vehículo ligero tipo "A"

Costo base= 3.64

Para terreno plano:

$$FA=0.00002*(IIR)^3+0.003*(IIR)^2+0.008*(IIR)+1.013$$

Para terreno en lomerío:

$$FA=-0.00006*(IIR)^3+0.004*(IIR)^2-0.002*(IIR)+1.146$$

Para terreno montañoso:

$$FA =0.00009*(IIR)^3+0.001*(IIR)^2+0.02*(IIR)+1.263$$

Autobús foráneo "B"

Costo base=11.23

Para terreno plano:

$$FA=0.000135*(IIR)^3-0.002*(IIR)^2+0.036*(IIR)+1.046$$

Para terreno en lomerío:

$$FA=0.000135*(IIR)^3-0.002*(IIR)^2+0.04*(IIR)+1.296$$

Para terreno montañoso:

$$FA =0.00095*(IIR)^2+0.022*(IIR)+1.64$$

Camión de dos ejes "C2"

Costo base=6.46

Para terreno plano:

$$FA=0.00015*(IIR)^3-0.003*(IIR)^2+0.081*(IIR)+0.96$$

Para tipo de terreno en lomerío:

$$FA=0.00003*(IIR)^3-0*(IIR)^2+0.065*(IIR)+1.27$$

Para tipo de terreno montañoso:

$$FA=0.00002*(IIR)^3-0*(IIR)^2+0.069*(IIR)+1.603$$

Camión de tres ejes "C3"

Costo base=8.83

Para terreno plano:

$$FA =0.000095*(IIR)^3-0.002*(IIR)^2+0.057*(IIR)+1.033$$

Para tipo de terreno en lomerío:

$$FA=0.000035*(IIR)^3-0.001*(IIR)^2+0.057*(IIR)+1.38$$

Para tipo de terreno montañoso:

$$FA=0.00003*(IIR)^3-0.0006*(IIR)^2+0.055*(IIR)+1.79$$

Camión articulado "T3S2"

Costo base=12.46

Para terreno plano:

$$FA =0.00006*(IIR)^3+0.0002*(IIR)^2+0.043*(IIR)+1.023$$

Para tipo de terreno en lomerío:

$$FA=0.00006*(IIR)^3-0.00015*(IIR)^2+0.048*(IIR)+1.303$$

Para tipo de terreno en montañoso:

$$=0.054*(IIR)+1.64$$

Camión articulado "T3S3"

Costo base=13.97

Para terreno plano:

$$FA =-0.0005*(IIR)^2+0.059*(IIR)+1.02$$

Para tipo de terreno en lomerío:

$$FA=0.00003*(IIR)^3+0.0002*(IIR)^2+0.044*(IIR)+1.39$$

Para tipo de terreno en montañoso:

$$FA=0.00003*(IIR)^3-0.0002*(IIR)^2+0.05*(IIR)+1.77$$

Camión articulado "T3S2R4"

Costo base=17.42

$$FA =0.00009*(IIR)^3-0.00125*(IIR)^2+0.05*(IIR)+1.073$$

Para tipo de terreno en lomerío:

$$FA=-0.00005*(IIR)^3+0.0011*(IIR)^2+0.042*(IIR)+1.483$$

Para tipo de terreno montañoso:

$$FA=0.049*(IIR)+1.93$$

Para determinar el factor de ajuste de los diferentes costos de operación se utilizan las fórmulas anteriores teniendo como variable el IIR (índice internacional de rugosidad) el cual se toma de las velocidades arrojadas por la determinación del nivel de servicio, como la velocidad que se tiene es un promedio de todos los vehículos y sabiendo que el vehículo ligero es el que se transporta con mayor velocidad, se determinaron las velocidades de los vehículos pesados multiplicando

el promedio de la velocidad por un factor de ajuste, obtenido de la división de la velocidad del vehículo del cual se quiere obtener la velocidad en condiciones ideales entre la velocidad del vehículo tipo "A", también en condiciones ideales. Estas velocidades fueron obtenidas de la publicación técnica No 368. Con lo que se obtuvieron los siguientes factores de ajuste para las diferentes velocidades.

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE VEHICULO TIPO B	
VELOCIDAD "A"	85
Velocidad "B"	80
FA	0.94118

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE VEHICULO TIPO C2	
VELOCIDAD "A"	85
Velocidad "C2"	69
FA	0.81176

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE VEHICULO TIPO C3	
VELOCIDAD "A"	85
Velocidad "C3"	65
FA	0.76471

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE VEHICULO TIPO T3S2	
VELOCIDAD "A"	85
Velocidad "T3S2"	73
FA	0.85882

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE VEHICULO TIPO T3S3	
VELOCIDAD "A"	85
Velocidad "T3S3"	65
FA	0.76471

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE VEHICULO TIPO B	
VELOCIDAD "A"	85
Velocidad "T3S2R4"	54
FA	0.63529

Para poder determinar las tarifas, máxima, mínima y óptima, es necesario además de la inversión y el mantenimiento de la carretera nueva, contar con flujos de efectivo, los cuales son la cuantificación de los beneficios que se obtendrían al crear una vía alterna a la ya existente independientemente del tramo carretero a estudiar.

Estos beneficios se obtienen de comparar la vía actual con una vía nueva tomando en cuenta dos insumos, el primero son los costos de operación vehicular y el segundo es el valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que transitan el tramo a estudiar.

Se tomó como referencia la nota No 136, “Estimación del Valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2012” y de la publicación técnica No 368, “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2012” respectivamente.

4.2 Estimación de los beneficios debidos a los ahorros en tiempo de recorrido.

Para estimar los beneficios debidos a los ahorros en tiempo de recorrido, se parte de la información sobre la velocidad que presentan los distintos vehículos que constituyen el TDPA en las situaciones actual (sin proyecto) y futura (con proyecto).

De manera semejante a como se abordó el caso de los beneficios debidos a los ahorros en costos de operación, se consideran también los tres escenarios de análisis propuestos.

Conocida la longitud de la carretera actual y la longitud de la carretera nueva o con proyecto, se procede a obtener los tiempos de recorrido de los distintos tipos de vehículos en todo el horizonte económico del proyecto.

Se obtienen, por una parte, los ahorros en tiempo de recorrido del TDPA que se desvía hacia la carretera nueva o con proyecto y, por otro lado, se estiman los tiempos de recorrido que se mejoran por la descongestión de la carretera actual.

Los ahorros en tiempo de recorrido del tránsito desviado se obtiene mediante la diferencia de los tiempos de recorrido de los distintos tipos de vehículo que conforman el TDPA usuario de la nueva ruta y del TDPA que permanece en la ruta actual. Sin embargo, para cuantificar el valor de dichos ahorros únicamente se consideran los ahorros en tiempo de recorrido de los vehículos que transportan pasajeros, es decir se discrimina el volumen de tránsito de los vehículos de carga, ya que el valor del tiempo de los conductores de este tipo de vehículos ya se considera en el costo de operación vehicular.

Derivado de la información de los estudios de demanda existentes es necesario conocer el nivel de ocupación promedio de los vehículos ligeros tipo A y de autobuses o tipo B.

Cuando se cuente con la información sobre el tipo de viaje, deberá tomarse en consideración la diferenciación del valor del tiempo de las personas que viajan por motivo de trabajo y por motivo de placer.

Con la publicación de los resultados definitivos del Censo 2010, se realizó la actualización de los factores que intervienen en la estimación del valor del tiempo de los usuarios de la red carretera nacional.

Aplicando la metodología consignada en la publicación técnica 381 del IMT se estimó el valor del tiempo para 2012, el cual se encuentra en función del salario mínimo general promedio nacional.

Valor del tiempo por motivo de trabajo (SHP):

$$\text{SHP} = (\text{FIP} * \text{SMGP} * 7) / \text{HTP} \quad (14)$$

Valor del tiempo por motivo de placer (VTpp):

$$\text{VTpp} = 0.3 * \text{H} \quad (\text{GWILLIAM Kennet, 1995}) \quad (15)$$

$$\text{VTpp} = 0.3 * (2 * \text{FIP} * [\text{SMGP} / (\text{HTP} / 7)]) \quad (16)$$

Donde:

H = ingreso horario familiar = $2 * \text{FIP} * \text{SMH}$

SMH = salario mínimo por hora (en pesos) = $\text{SMGP} / \text{PHTD}$

PHTD = promedio de horas trabajadas diarias = $\text{HTP} / 7$

HTPcenso2010 = promedio de las horas trabajadas por semana = 41.444

FIP censo2010 = factor de ajuste del ingreso promedio de la población = 3.367

SMGP = salario mínimo general promedio (en pesos diarios)

En el año 2012, con la actualización de los salarios mínimos vigentes desde el 1 de enero, la CONASAMI recalculó el SMGP vigente durante dicho año, arrojando un valor de \$60.50, equivalente a un incremento de 4.2% con respecto a 2011.

Asimismo, la actualización de los factores HTP y el FIP, con base en la información del Censo de Población y Vivienda 2010, representó una disminución de 4.65% en el valor de las horas trabajadas así como un incremento de 14.67% en los ingresos percibidos en el ámbito nacional.

Para realizar una actualización del valor del tiempo basta con sustituir los salarios mínimos generales promedio vigentes en las ecuaciones 14 y 15, como se muestra a continuación:

Valores HTP y FIP derivados del Censo 2010.

$$\text{SHP}(2012) = (3.367 * 60.50 * 7) / 41.444 = 34.41$$

$$\text{VTpp}(2012) = (0.3*2)*(3.367*[60.50 / (41.444 / 7)]) = 20.64$$

De esta manera se obtuvieron las siguientes estimaciones del valor del tiempo con factores del Censo 2010: \$34.41 para viajes por motivo de trabajo y \$20.64 para los viajes por placer.

En el cuadro 20 se consigna un resumen de la información necesaria para el cálculo del valor del tiempo de las personas por tipo de viaje.

Cuadro 20. Valor del tiempo de las personas que viajan por motivo de trabajo y valor del tiempo de las personas que viajan por motivo de placer.

Valor del tiempo por motivo de trabajo (SHP):					
SHP=	$(\text{FIP} * \text{SMPG} * 7) / \text{HTP}$		SHP=	34.406054	
Valor del tiempo por motivo de placer (VTpp):					
VTpp=	$0.3 * H$		VTpp=	20.643632	
DONDE					
H=	ingreso horario familiar = $2 * \text{FIP} * \text{SMH}$			68.812108	
SMH=	salario mínimo por hora (en pesos) = $\text{SMGP} / \text{PHTD}$			10.218608	
PHTD=	promedio de horas trabajadas diarias = $\text{HTP} / 7$			5.9205714	
HTP=	promedio de las horas trabajadas por semana =			41.444	Publicacion IMT
FIP=	factor de ajuste del ingreso promedio de la población =			3.367	CEPEP
SMPG=	salario mínimo general promedio (en pesos diarios)=			60.5	← PUBLICADO POR CONASAMI 2012

5. Estimación de los costos de inversión y mantenimiento

Otro insumo que intervenga en la determinación de los indicadores de rentabilidad económica y de los beneficios netos del proyecto, es el relativo a los costos de inversión y mantenimiento de la situación con proyecto.

5.1 Costos de inversión del proyecto a lo largo del horizonte económico.

En la inversión del proyecto se toma en cuenta los montos invertidos en el proyecto a lo largo de su vida útil, los primeros montos son los utilizados para realizar la obra los cuales pueden realizarse en un año o diferido en dos o tres años, y el costo del mantenimiento para el cual se utilizó como referencia la “Guía general para la preparación y presentación de estudios de evaluación socioeconómica de proyectos carreteros” los cuales se reflejan en el cuadro 21.

El costo de inversión es el costo derivado de la construcción de la carretera, el cual incluye todas las actividades a realizar tales como proyecto ejecutivo, realización del proyecto y los estudios requeridos para su construcción.

5.2 Costos de mantenimiento

Para poder conservar la carretera en condiciones óptimas y con ello tener una correcta operación es necesario llevar a cabo tareas de mantenimiento las cuales se proponen tomando en cuenta la “GUÍA GENERAL PARA LA PREPARACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTUDIOS DE EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS CARRETEROS” del CEPEP

El primer año de operación y todos los siguientes años, se tendrá que incurrir en costos de conservación rutinarios anuales, que la SCT estima ascienden aproximadamente a 36,000 \$/km-carril.

Se toman en cuenta otros costos de conservación mayores como son el riego de sello, la sobrecarpeta y la reconstrucción. Estos costos no se incurren anualmente y su periodicidad es de al menos cada 8 años.

De acuerdo con la SCT, el monto y la frecuencia de los costos de conservación mayores son los que se muestran en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Costos de mantenimiento y conservación (cifras agosto 2004)

Concepto	Costo (\$/km.-carril)	Frecuencia
Riego de sello	55,000	Cada 8 años
<u>Sobrecarpeta</u>	285,000	La 1ª vez en el año 8 y posteriormente cada 16 años
Reconstrucción	725,000	Cada 16 años

6. Determinación de indicadores económicos.

Al contar con un horizonte, la inversión a lo largo de la vida útil y los beneficios relacionados al valor del tiempo y los costos de operación del proyecto, se pueden determinar los principales indicadores económicos que son el índice de rentabilidad (IR), el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) tomados en cuenta para la evaluación de proyectos de infraestructura carretera, los cuales son mencionados en los “Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión” publicados en el diario oficial de la federación por la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP), sabiendo que una evaluación de este tipo se realiza con un horizonte de proyecto de 30 años a precios actualizados a excepción de la Tasa interna de retorno la cual se obtiene a precios constantes.

6.1 Valor Presente Neto.

“Es el valor en términos monetarios que da como resultado al restar los flujos de efectivo generados por el proyecto a la inversión inicial de un proyecto dado” (De Rus et al., 2006). El punto de partida para la evaluación económica de un proyecto de inversión cuyos beneficios y costos se distribuyen a lo largo de cierto número de períodos en el futuro (desde $t=0$ hasta $t=T$) consiste en determinar cuál es el valor actualizado (en el momento en el que debe tomarse la decisión) de la suma de dichos beneficios menos los costos. Esto es lo que se denominará valor presente neto (VPN).

El proyecto consiste en una sucesión de flujos monetarios positivos (beneficios) y negativos (costos) que se suceden a partir de una inversión inicial realizada en el período $t=0$.

La fórmula que se emplea para el cálculo del VPN es la siguiente:

$$VPN = \sum (It - Et) \frac{1}{(1+i)^n} \quad (17)$$

En dónde:

Et = Egresos totales.

It = Ingresos totales.

$\frac{1}{(1+i)^n}$ = Factor de actualización

Algunas situaciones que se pueden presentar en el análisis del VPN:

Si resulta que el VPN es positivo ($VPN > 0$), la rentabilidad de la inversión es mayor que la tasa actualizada o de descuento. En consecuencia, el proyecto se acepta.

Si el VPN es cero ($VPN = 0$), entonces la rentabilidad es igual a la tasa de descuento, por lo que el proyecto puede considerarse aceptable.

Si el VPN es negativo ($VPN < 0$), la rentabilidad se encuentra por debajo de la tasa de descuento y en consecuencia, el proyecto debe descartarse.

6.2 Tasa Interna de Retorno.

Es la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero, o es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial, es el único indicador económico que se calcula a precios constantes.

Para aplicar la TIR, se parte del supuesto que el $VPN = 0$, entonces se buscará encontrar una tasa de actualización con la cual el valor actualizado de las entradas de un proyecto, se haga igual al valor actualizado de las salidas.

La ecuación de la TIR es la siguiente:

$$\sum_{t=0}^{t=n} (I_t - E_t) \frac{1}{(1 + TIR)^n} = 0 \quad (18)$$

En consecuencia, la decisión de invertir se realiza comparando la TIR con una tasa de descuento aplicada que, en este caso, por efecto del ejercicio se tomó del 12%, lo que da la tasa aceptable mínima a que debe calcularse el crecimiento del capital invertido.

Esta tasa de descuento es necesaria para la actualización de los flujos de efectivo, y así tener el valor presente de un pago o ingreso futuro.

Criterios de aceptación o rechazo de proyectos con base en la TIR:

La TIR, al igual que otros indicadores tiene dos criterios a seguir para aceptar o rechazar proyectos de inversión:

Si la TIR es mayor o igual que la Tasa de descuento, el proyecto se acepta. ($TIR \geq$ Tasa de Descuento).

Si la TIR es menor que la Tasa de descuento, el proyecto se rechaza. (TIR < Tasa de Descuento). (Torres G., et al.,2000)

6.3 Índice de Rentabilidad

El índice de rentabilidad (IR) de la inversión, se define como el cociente de la suma de beneficios entre la suma de los costos de inversión a lo largo del horizonte económico del proyecto.

El índice de rentabilidad se calcula tomando en cuenta el valor de los beneficios y costos a precios de mercado mediante la siguiente expresión:

$$IR = \frac{\sum_{j=0}^n B_{ij}}{\sum_{j=0}^n C_j} \quad (19)$$

En donde:

IR = Índice de Rentabilidad,

B_{ij} = Beneficios derivados de los distintos criterios i en el año j

C_j = Costos de Inversión en el año j.

j = 0,1,2,3,..n

n = Horizonte económico del proyecto

La determinación del índice de rentabilidad a precios de mercado se emplea normalmente cuando el análisis costo-beneficio está orientado básicamente a proyectos de tipo privado, en donde se dispone de capital propio y no tiene que pagarse ningún cargo por financiamiento, además de contar con horizontes económicos equiparables.

La estimación del índice de rentabilidad con valores actualizados se realiza cuando se trata de proyectos en los que deba retribuirse un costo originado por financiamiento a la institución (pública o privada) que proporciona el crédito, o bien cuando es necesario tomar en cuenta el llamado costo por externalidades, es decir, cuando parte de los beneficios y/o costos recaen sobre terceros, tal es el caso de obras de infraestructura financiadas con recursos fiscales propios o provenientes de crédito externo, otorgados por instituciones internacionales de crédito, así como en aquellos proyectos cuyo horizonte económico es diferente. (Torres G., et al.,2000).

La expresión que se emplea en la obtención del índice de rentabilidad a precios actualizados es la que se muestra a continuación:

$$IR = \frac{\sum_{j=0}^n Bij (1+r)^{-j}}{\sum_{j=0}^n Cj(1+r)^{-j}} \quad (20)$$

En donde:

IR = Índice de Rentabilidad

Bij = Beneficios derivados de los distintos criterios i en el año j

Cj = Costos de inversión en el año j

r = Tasa de actualización

j = 0,1,2,3,..n

n = Horizonte económico

En este caso, es conveniente conocer el flujo de recursos reales (de los bienes y servicios) utilizados o producidos directamente por el proyecto.

Si el índice de rentabilidad es mayor o igual a 1, el proyecto es rentable, ya que el ingreso por los beneficios obtenidos es igual o superior al capital invertido.

6.4 Índice de Rentabilidad Inmediata

El índice de rentabilidad inmediata, es el indicador que muestra la rapidez de recuperación de la inversión en el primer año de operación del proyecto.

Este indicador se define como el cociente que resulta de dividir los beneficios obtenidos en el primer año de operación del proyecto entre el costo de inversión del mismo.

Cuando la inversión se realiza en diferentes periodos del horizonte económico del proyecto, el índice de rentabilidad inmediata más representativo es el que se obtiene a precios actualizados. La expresión que se utiliza para su estimación es la siguiente:

$$IRI = \frac{\sum_{j=n} Bij(1+i)^n}{\sum_{j=0}^{n-1} Cj(1+i)^n} \quad (21)$$

En donde:

IRI = Índice de Rentabilidad Inmediata (Actualizado)

Bij = Beneficios derivados de los distintos criterios i en el año j

Cj = Costos de Inversión en el año j

r = Tasa de actualización

j = 0,1,2,....n

n = año de puesta de operación del proyecto

Este indicador tiene gran utilidad cuando al jerarquizar varios proyectos de una cartera, se identifican dos o más proyectos que tienen el IR, VPN o la TIR similares, ya que permite conocer si un gran porcentaje de la inversión realizada será recuperada en el corto plazo. (Torres G., et al.,2000).

7. Estimación del monto de la cuota para carreteras de peaje

El análisis de la cuota se realiza para tres escenarios:

- A) Escenario para garantizar el pago de la inversión realizada, considerando el volumen de tránsito potencial usuario de la obra nueva.
- B) Escenario que contempla el pago de la inversión realizada considerando los beneficios netos que obtiene el tránsito usuario de la obra nueva.
- C) Escenario que considera el pago de la inversión tomando en cuenta los beneficios totales producto de la evaluación económica; es decir, al momento de estimar la tarifa, el monto de la misma deberá garantizar que dicho cobro no exceda el Valor Presente Neto estimado en la evaluación económica, ya que de ocurrir lo contrario, se estaría ocasionando una depresión en la dinámica del resto de las ramas de la actividad económica nacional.

Se parte de la idea de que existe una carretera actual la cual no tiene peaje y se planea establecer la tarifa óptima, máxima y mínima de una nueva carretera, la cual tiene el mismo origen y el mismo destino que la carretera actual, pero con mejores condiciones de operación.

Para poder determinar la tarifa óptima, máxima y mínima es necesario realizar el análisis costo beneficio del proyecto tomando en cuenta todos los flujos de efectivo.

Al contar con los flujos de efectivo el establecimiento de tarifas se genera de la siguiente forma: Las tarifas se calcularon con base al aforo de vehículos que se pretende se trasladen por la carretera nueva los cuales serían los que pagarían el proyecto aportando un peaje propuesto.

7.1 Tarifa mínima de un proyecto de infraestructura carretera de peaje.

En esta tarifa son tomados en cuenta únicamente los costos de construir una nueva carretera, considerando la inversión inicial y el mantenimiento para su adecuado funcionamiento los cuales serían cubiertos por el usuario. Para determinar esta tarifa se toma en cuenta el valor presente de la inversión, el mantenimiento y el número de usuarios en vehículos equivalentes que se

desplazarían por la carretera de peaje y a partir de ello determinar esta tarifa con la siguiente ecuación:

$$\text{cuota mínima} = \frac{\Sigma \text{ inversión y mantenimiento}}{\text{TDPA equivalente en carretera nueva}} \quad (22)$$

7.2 Tarifa óptima de un proyecto de infraestructura carretera de peaje.

Para determinar esta tarifa se requirió del número de vehículos equivalentes que transitarían en dicha carretera nueva los cuales pueden variar de acuerdo al modelo de evaluación utilizado. Para esto se determinó la tarifa del resultado de la relación de los beneficios obtenidos por la carretera nueva entre el TDPA en vehículos equivalentes.

$$\text{cuota óptima} = \frac{\Sigma \text{ beneficios en carretera nueva}}{\text{TDPA equivalente en carretera nueva}} \quad (23)$$

7.3 Tarifa máxima de un proyecto de infraestructura carretera de peaje.

En esta tarifa son tomados en cuenta todos los beneficios de construir una nueva carretera, sabiendo que al realizar un proyecto como éste se obtiene una mejor velocidad de operación en ambas vialidades las cuales son la carretera existente y la carretera nueva. Para determinar esta tarifa se toma en cuenta el valor presente de los beneficios obtenidos en ambas carreteras y el número de vehículos equivalentes que se trasladarían por la carretera de peaje para así determinar esta tarifa con la siguiente ecuación:

$$\text{cuota máxima} = \frac{\Sigma \text{ beneficios en ambas carreteras}}{\text{TDPA equivalente en carretera nueva}} \quad (24)$$

El monto de la cuota que se determina con las expresiones anteriores corresponde al peaje que pagaría el usuario por el recorrido total de la nueva carretera y por

vehículo equivalente, por lo que la cuota unitaria por vehículo/Km se obtiene al dividir el monto de la cuota por la longitud de la obra.

Posteriormente, y de acuerdo a la clasificación expuesta en el capítulo introductorio, la cuota por tipo de vehículo se establece de acuerdo a la equivalencia en vehículos estándar.

Para los tres escenarios analizados se obtuvieron los tres niveles de cuota basándose en una hoja de cálculo en el que se consideraron los dos manuales de capacidad vial, mencionados anteriormente, para obtener las velocidades de operación vehicular y así poder determinar los beneficios debidos a los ahorros en costos de operación vehicular y los debidos a los ahorros en tiempo de recorrido, mismos que se utilizaron como insumos para el análisis costo beneficio requerido para determinar el nivel de cuota desde una óptica económica.

Partiendo de un escenario propuesto el cual se menciona en el anexo 1, se prosigue a consignar los resultados relativos a la utilización del *“Highway Capacity Manual 2010 del Transportation Research Board (TRB)* y al Manual de Capacidad Vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), en donde encontramos dos alternativas diferentes, un carril por sentido al cual refiere el anexo 2 y carreteras de carriles múltiples las cuales se observan en el anexo 3.

Al contar con las velocidades de operación asociadas a los distintos niveles de servicio, se prosigue a determinar los beneficios relacionados al costo de operación vehicular obtenidos, los cuales se refieren al anexo 4.

Conclusiones

Para la determinación de las cuotas que podrían ser establecidas en carreteras nuevas con peaje se procedió a realizar el análisis costo beneficio desde una óptica económica, considerando dos alternativas al momento de estimar los insumos relativos a los costos de operación vehicular y al valor del tiempo de los usuarios de la nueva infraestructura.

Se plantea la determinación de las velocidades de operación con base en la utilización por una parte del *Highway Capacity Manual 2010* del Transport Research Board y, por otra, el manual de capacidad vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Además de realizar el análisis de las velocidades de operación con los parámetros de cada uno de los manuales mencionados, se proporciona como un producto adicional el modelo que se utilizó para obtener las velocidades de operación para cada uno de los niveles de operación en que se encuentra funcionando la infraestructura analizada.

El principal resultado que se obtiene del estudio es la realización del análisis costo beneficio propio de una evaluación económica de proyectos el cual además de permitir al responsable de la toma de decisiones obtener los indicadores de rentabilidad económica, con la determinación de los beneficios netos que se logran calcular (VPN), es posible encontrar la cuota de recuperación de la inversión que puede establecerse en tres escenarios: A) Cuota Mínima, B) Cuota Óptima y C) Cuota Máxima.

A la luz de los resultados obtenidos, es posible establecer los niveles de cuota, garantizando en un momento dado que de haber excedente del consumidor del servicio prestado con la nueva alternativa, pueda estimarse el beneficio en cuanto al crecimiento que pueda generarse al imprimir mayor dinamismo en las distintas ramas de la actividad económica y conociendo el monto de la cuota máxima poder proporcionar a los responsables de la toma de decisiones elementos de juicio para no provocar una pérdida en dicho dinamismo o bien en un caso extremo una depresión de la actividad económica.

El costo generalizado del transporte es un elemento esencial en toda dinámica de crecimiento económico pues es éste uno de los principales insumos que participan en la circulación del capital en sus distintas manifestaciones (capital dinero, mercancía y trabajo).

Al lograr abatir el costo generalizado del transporte, podrá privilegiarse el costo en el ciclo de producción de bienes y servicios o bien en el ciclo de distribución de mercancías.

Bibliografía

ALBERRO, J. *Costo de oportunidad social del tiempo de usuarios del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México*, El trimestre económico 297, enero-marzo de 2008, Fondo de Cultura Económica, México, 2008.

ARROYO, J. AGUERREBERE, R y TORRES, G. “*COSTOS DE OPERACIÓN BASE DE LOS VEHÍCULOS REPRESENTATIVOS DEL TRANSPORTE INTERURBANO 2012*” Publicación técnica N° 368, Instituto Mexicano del Transporte, 2012.

CERVINI, Héctor F. *Valor Social del Tiempo* (versión preliminar), Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona.- <http://www.ecap.uab.es/jpasqual/materials/valor_social_tiempo.pdf>

CONASAMI. *Salario Mínimo General Promedio*, Comisión Nacional de Salarios Mínimos, México, <<http://www.conasami.gob.mx>>

CORTÉS, F. *El ingreso y la desigualdad en su distribución, México: 1997-2000*, Papeles de Población No. 35 enero/marzo 2003. Universidad Autónoma del Estado de México. < <http://papelesdepoblacion.uaemex.mx/pp35/pp35.html> >.

GWILLIAM, Kenneth. *The value of time in economic evaluation of transport projects, lessons from recent research in “Infrastructure Notes” No. OT-5*, Transport Sector World Bank, January 1995 <http://www.worldbank.org/transport/publicat/td-ot5.htm>

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES “*Manual de capacidad vial*” México, 1991.

TORRES, G., HERNÁNDEZ, S. y RUVALCABA, J. “*Estimación del valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2012*” NOTAS 136, artículo 2, Instituto Mexicano del Transporte. mayo/junio de 2012.

TORRES, G., HERNÁNDEZ, S. y RUVALCABA, J. “*Actualización de la metodología para estimar el valor del tiempo de los usuarios de la red carretera nacional*”. Publicación técnica N° 381, Instituto Mexicano del Transporte, 2012.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD “*Highway capacity manual 2010*” Washington D.C. 2010.

Anexos.

Anexo 1. Escenario propuesto.

CARRETERA ACTUAL					
NOMBRE DE LA CARRETERA	Origen-Destino				
INVERSIÓN (PESOS)	\$ -				
PORCENTAJE DE VEHICULOS QUE CIRCULARIAN EN LA CARRETERA	50.0%				
KILOMETROS DE CAMINO	70				
TIPO DE TERRENO "P""L""M"	P				
TDPA	9000				
TDPA RESTANTE	4500	TCMA PROPUESTA			
%A	79.9%	3%			
%B	5.4%	3%			
%C2	6.8%	3%			
%C3	2.0%	3%			
%T3S2	2.1%	3%			
%T3S3	1.0%	3%			
%T3S2R4	2.9%	3%			
CARRETERA NUEVA					
NOMBRE DE LA CARRETERA	Origen-Destino				
PORCENTAJE DE VEHICULOS QUE TOMARIAN LA CARRETERA NUEVA	50.0%	% INVERSION AÑO 1	% INVERSION AÑO 2	% INVERSION AÑO 3	
Años de construcción "1", "2", "3"	3	50%	25%	25%	
INVERSIÓN (PESOS)	\$ 850,000,000.00				
KILOMETROS DE CAMINO NUEVO	70				
TIPO DE TERRENO "P""L""M"	P				
TDPA	4500				
%A	79.90%				
%B	5.40%				
%C2	6.80%				
%C3	2.00%				
%T3S2	2.05%				
%T3S3	1.00%				
%T3S2R4	2.85%				

Anexo 3. Resultados relativos a la utilización del “Highway Capacity Manual 2010” del *Transportation Research Board* (TRB) y al Manual de Capacidad Vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), considerando carreteras de carriles múltiples.

1-CARRETERA			HCM					MANUAL DE CAPACIDAD VIAL				
			AÑO	TDPA	NS	VELOCIDAD	NS	VELOCIDAD				
CARRILES POR SENTIDO "1", "2", "3"	2		0	4500	A	90	A	104				
VEHICULOS POR HORA	375		1	4635	A	90	A	104				
NO SE UTILIZA EN ESTE TIPO DE CARR	50	50	2	4774	A	90	A	103				
PORCENTAJE DE AUTOBUSES Y VEH F	3.35%		3	4917	A	90	A	103				
VEHICULOS RECREATIVOS	0.05		4	5065	A	90	A	103				
VELOCIDAD DE FLUJO BASE km/h	100		5	5217	A	90	A	103				
TIPO DE TERRENO "P" "L" "M"	P		6	5373	A	90	A	102				
ANCHO DE CARRIL (m)	3.3		7	5534	A	90	A	102				
DISTANCIA LATERAL DERECHA	1		8	5700	A	90	A	101				
DISTANCIA LATERAL IZQUIERDA	1		9	5871	A	90	A	101				
DISTANCIA LIBRE LATERAL (m)	2		10	6048	A	90	A	101				
% ZONAS DE NO REVASE	50		11	6229	A	90	A	100				
PUNTOS DE ACCESO	5		12	6416	A	90	A	100				
TIPO DE CARRETERA "I", "II", "III"	I	I	13	6608	A	90	A	99				
FRANJA SEPARADORA "S" "N"	S		14	6807	A	90	A	99				
FHVID PROPUESTO	0.96		15	7011	A	90	A	98				
			16	7221	A	90	A	98				
			17	7438	A	90	A	97				
			18	7661	A	90	A	97				
			19	7891	A	90	A	96				
			20	8128	A	90	A	96				
			21	8371	A	90	A	95				
			22	8622	A	90	A	95				
			23	8881	A	90	A	94				
			24	9148	A	90	A	93				
			25	9422	A	90	A	93				
			26	9705	A	90	A	92				
			27	9996	A	90	A	92				
			28	10296	A	90	A	91				
			29	10605	A	90	A	90				
			30	10923	A	90	A	89				
			31	11250	A	90	A	89				
			32	11588	A	90	A	88				

Anexo 4. Beneficios debidos a los ahorros en costos de operación vehicular utilizando el *Highway Capacity Manual 2010* del *Transportation Research Board* (TRB).

Beneficios debidos TDPA total		Beneficios obtenidos debidos a % de TDPA en carretera nueva			
AÑO	BENEFICIOS	AÑO	BENEFICIOS		
0	0	0	0		
1	0	1	0		
2	0	2	0		
3	0	3	0		
4	2,035,985	4	1,021,403		
5	8,515,697	5	4,261,362		
6	13,527,416	6	6,767,327		
7	13,933,239	7	6,970,346		
8	38,927,041	8	9,563,741		
9	45,979,006	9	12,792,730		
10	85,979,408	10	19,122,156		
11	95,092,663	11	22,962,758		
12	101,723,797	12	25,540,817		
13	153,166,942	13	32,716,525		
14	157,761,950	14	33,698,021		
15	162,494,809	15	34,708,962		
16	184,275,262	16	44,203,035		
17	241,840,783	17	47,881,420		
18	249,096,007	18	49,317,863		
19	261,224,642	19	53,125,276		
20	275,897,998	20	58,137,343		
21	296,910,149	21	66,249,068		
22	868,815,990	22	146,434,302		
23	894,880,470	23	150,827,332		
24	919,882,117	24	155,352,152		
25	947,478,580	25	160,012,716		
26	973,044,000	26	164,813,098		
27	990,087,102	27	169,757,490		
28	1,019,789,715	28	174,850,215		
29	1,050,383,407	29	180,095,722		
30	1,056,186,255	30	185,498,593		
31	1,054,732,272	31	191,063,551		
32	1,072,429,953	32	196,795,458		

Beneficios debidos a los ahorros en costos de operación vehicular utilizando el Manual de Capacidad Vial de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Beneficios debidos TDPA total		Beneficios obtenidos debidos a % de TDPA en carretera nueva			
AÑO	BENEFICIOS	AÑO	BENEFICIOS		
0	0	0	0		
1	0	1	0		
2	0	2	0		
3	0	3	0		
4	124,570,238	4	82,344,313		
5	128,307,345	5	84,814,643		
6	132,156,565	6	87,359,082		
7	136,121,262	7	89,979,855		
8	140,204,900	8	92,679,250		
9	144,411,047	9	95,459,628		
10	148,743,378	10	98,323,417		
11	153,205,680	11	101,273,119		
12	157,801,850	12	104,311,313		
13	162,535,905	13	107,440,652		
14	167,411,983	14	110,663,872		
15	341,987,564	15	143,579,608		
16	352,247,191	16	147,886,996		
17	297,937,685	17	152,323,606		
18	306,875,816	18	156,893,314		
19	316,082,090	19	161,600,113		
20	325,564,553	20	166,448,117		
21	335,331,490	21	171,441,560		
22	345,391,434	22	176,584,807		
23	355,753,177	23	181,882,351		
24	366,425,773	24	187,338,822		
25	377,418,546	25	192,958,986		
26	385,882,164	26	198,747,756		
27	397,458,629	27	204,710,189		
28	409,382,388	28	210,851,494		
29	421,663,860	29	217,177,039		
30	434,313,776	30	223,692,350		
31	447,343,189	31	230,403,121		
32	460,763,484	32	237,315,215		

Anexo 5. Ahorros en tiempo de recorrido utilizando el *Highway Capacity Manual* 2010 del *Transportation Research Board* (TRB).

Beneficios debidos TDPA total		Beneficios obtenidos debidos a % de TDPA en carretera nueva	
AÑO	BENEFICIOS	AÑO	BENEFICIOS
0	27724341	0	20712167
1	29398811	1	21880166
2	31181991	2	23120513
3	32746043	3	24217972
4	34753397	4	25607416
5	36892952	5	27084274
6	39174074	6	28654519
7	41606850	7	30324567
8	44202155	8	32101320
9	46971711	9	33992200
10	49978440	10	36005195
11	53138762	11	38148910
12	56514630	12	40432614
13	60122013	13	42866306
14	63978192	14	45460769
15	68101871	15	48227649
16	72642499	16	51179528
17	77368284	17	54330008
18	82427850	18	57693809
19	87847108	19	61286870
20	93654227	20	65126467
21	99879852	21	69231337
22	281543257	22	161114773
23	288979496	23	165948216
24	296570177	24	170926663
25	304315009	25	176054463
26	312651512	26	181336096
27	320723103	27	186776179
28	328946685	28	192379465
29	337320220	29	198150849
30	345841087	30	204095374
31	354506015	31	210218235
32	363311015	32	216524782

Ahorros en tiempo de recorrido utilizando el Manual de Capacidad Vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Beneficios debidos TDPA total		Beneficios obtenidos debidos a % de TDPA en carretera nueva	
AÑO	BENEFICIOS	AÑO	BENEFICIOS
0	45696158	0	39581442
1	46660686	1	40362529
2	47626731	2	41139629
3	48767483	3	42085768
4	49742561	4	42860394
5	50713676	5	43625045
6	51678323	6	44377033
7	52633737	7	45113408
8	53576869	8	45830930
9	54504361	9	46526044
10	55412519	10	47194852
11	56297278	11	47833082
12	57154176	12	48436053
13	57978307	13	48998641
14	58764291	14	49515235
15	118076723	15	79264943
16	120934692	16	80958559
17	113300969	17	82232245
18	115461876	18	83461090
19	117598102	19	84637293
20	119701894	20	85752261
21	121764657	21	86796534
22	123776866	22	87759700
23	125727975	23	88630294
24	127606310	24	89395698
25	129398950	25	90042019
26	131903403	26	91365765
27	133542158	27	91788391
28	135052834	28	92046453
29	136416564	29	92119992
30	137612467	30	91986999
31	138617427	31	91623194
32	139405837	32	91001777

Anexo 6. Indicadores de evaluación económica mediante la metodología del análisis costo beneficio utilizando el *Highway Capacity Manual 2010* del *Transportation Research Board* (TRB).

COSTOS DE INVERSIÓN Y MITTO										BENEFICIOS SOLO CARRETERA NUEVA						
AÑOS	AÑO		TOTAL DE INGRESOS	VALOR PRESENTE (inversión)	VALOR PRESENTE (ingresos)	VN (precios constantes)	VPN (precios actualizados)	VN ACUMULADO (constantes)	VPN ACUMULADO (ACT)	FACTOR DE ACTUALIZACIÓN	BENEFICIOS CN ACTUALIZADOS	INVERSIÓN ACTUALIZADA	TDPA veh equiv.			
0	2013	425,000,000.00	0.00	425,000,000.00	0.00	-425,000,000.00	-425,000,000.00	-425,000,000.00	-425,000,000.00	1		425000000	1986193.125			
1	2014	212,500,000.00	0.00	189,732,142.86	0.00	-212,500,000.00	-189,732,142.86	-637,500,000.00	-614,732,142.86	0.892857143		189732142.9	1826588.32			
2	2015	212,500,000.00	0.00	169,403,698.98	0.00	-212,500,000.00	-169,403,698.98	-850,000,000.00	-784,135,841.84	0.797193878		169403699	1679808.902			
3	2016	10,080,000.00	32,739,420.42	7,174,744.90	23,303,272.78	22,659,420.42	16,128,527.89	-827,340,579.58	-768,007,313.95	0.711780248	21,880,166	15573869.83	7174744.898	1544824.258		
4	2017	10,080,000.00	36,789,381.72	6,406,022.23	23,380,317.18	26,709,381.72	16,974,294.95	-800,631,197.86	-751,033,019.01	0.635518078	23,120,513	14693503.69	6406022.23	1420686.594		
5	2018	10,080,000.00	45,408,649.12	5,719,662.71	25,766,086.99	35,328,649.12	20,046,424.29	-765,302,548.74	-730,986,594.72	0.567426856	24,217,972	13741927.6	5719662.706	1306524.279		
6	2019	35,000,000.00	52,701,489.98	17,732,089.24	26,700,214.96	17,701,489.98	8,968,125.72	-747,601,058.75	-722,018,469.00	0.506631121	26,628,819	13490988.61	17732089.24	1201535.721		
7	2020	10,080,000.00	55,540,089.18	4,559,680.09	25,123,515.76	45,460,089.18	20,563,835.67	-702,140,969.57	-701,454,633.33	0.452349215	31,345,636	14179173.84	4559680.091	1104983.743		
8	2021	10,080,000.00	83,129,195.66	4,071,142.94	33,574,487.88	73,049,195.66	29,503,344.94	-629,091,773.91	-671,951,288.39	0.403883228	35,421,845	14306289.19	4071142.938	1016190.407		
9	2022	10,080,000.00	92,950,716.65	3,634,949.05	33,518,960.25	82,870,716.65	29,884,011.20	-546,221,057.26	-642,067,277.19	0.360610025	37,294,913	13448919.69	3634949.052	934532.2488		
10	2023	175,000,000.00	135,957,848.27	56,345,316.40	43,774,788.45	-39,042,151.73	-12,570,527.95	-585,263,208.99	-654,637,805.14	0.321973237	41,665,061	13415034.58	56345316.4	859435.9074		
11	2024	10,080,000.00	148,231,425.41	2,897,759.13	42,612,992.68	138,151,425.41	39,715,233.55	-447,111,783.58	-614,922,571.59	0.287476104	46,784,930	13449549.3	2897759.129	790374.0934		
12	2025	10,080,000.00	158,238,426.38	2,587,284.94	40,615,862.80	148,158,426.38	38,028,577.86	-298,953,357.20	-576,893,993.73	0.256675093	55,127,351	14149818.03	2587284.937	726861.8895		
13	2026	10,080,000.00	213,288,955.34	2,310,075.84	48,880,323.60	203,208,955.34	46,570,247.77	-95,744,401.85	-530,323,745.96	0.22917419	61,111,667	14005216.82	2310075.837	668453.3448		
14	2027	35,000,000.00	221,740,142.03	7,161,693.44	45,372,426.31	186,740,142.03	38,210,732.87	90,995,740.17	-492,113,013.09	0.204619813	65,973,431	13499471.19	7161693.442	614738.3429		
15	2028	10,080,000.00	230,596,679.98	1,841,578.31	42,129,151.29	220,516,679.98	40,287,572.98	311,512,420.15	-451,825,440.11	0.182696261	75,582,831	13808700.66	1841578.314	565339.727		
16	2029	10,080,000.00	256,917,760.93	1,644,266.35	41,908,852.12	246,837,760.93	40,264,585.77	558,350,181.08	-411,560,854.34	0.163121662	79,158,790	12912513.41	1644266.351	519910.6418		
17	2030	10,080,000.00	319,209,067.32	1,468,094.96	46,490,994.23	309,129,067.32	45,022,899.27	867,479,248.40	-366,537,955.07	0.145644341	82,936,611	12079248.05	1468094.957	478132.1078		
18	2031	707,000,000.00	331,523,856.78	91,937,990.21	43,111,226.45	-375,476,143.22	-48,826,763.76	492,003,105.18	-415,364,718.83	0.13003959	95,382,563	12403509.38	91937990.21	439710.7761		
19	2032	10,080,000.00	349,071,750.18	1,170,356.31	40,529,595.82	338,991,750.18	39,359,239.51	830,994,855.36	-376,005,479.33	0.116106777	102,211,428	11867439.43	1170356.311	404376.8779		
20	2033	10,080,000.00	369,552,224.96	1,044,960.99	38,310,283.69	359,472,224.96	37,265,322.70	1,190,467,080.32	-338,740,156.63	0.10366765	107,011,671	11093553.79	1044960.992	371882.3057		
21	2034	10,080,000.00	396,790,001.22	933,000.89	36,726,728.43	386,710,001.22	35,793,727.55	1,577,177,081.54	-302,946,429.08	0.092559612	114,412,146	10589943.79	933000.8857	341998.9062		
22	2035	35,000,000.00	1,150,359,247.12	2,892,487.86	95,068,576.08	1,115,359,247.12	92,176,088.21	2,692,536,328.66	-210,770,340.87	0.08264251	123,263,809	10186830.66	2892487.865	314516.8512		
23	2036	10,080,000.00	1,183,859,966.61	743,782.59	87,354,606.82	1,173,779,966.61	86,610,824.22	3,866,316,295.27	-124,159,516.65	0.073787956	135,480,406	9996822.186	743782.5939	289243.1757		
24	2037	10,080,000.00	1,216,452,293.19	664,091.60	80,142,435.69	1,206,372,293.19	79,478,344.08	5,072,688,588.46	-44,681,172.56	0.065882103	307,549,076	20261979.98	664091.6017	266000.4205		
25	2038	10,080,000.00	1,251,793,588.84	592,938.93	73,634,638.02	1,241,713,588.84	73,041,699.09	6,314,402,177.30	28,360,526.52	0.058823307	316,775,548	18633785.16	592938.93	244625.3867		
26	2039	175,000,000.00	1,285,695,511.94	9,191,141.65	67,525,768.96	1,110,695,511.94	58,334,627.31	7,425,097,689.24	86,695,153.83	0.052520809	326,278,814	17136427.42	9191141.649	224967.9895		
27	2040	10,080,000.00	1,310,810,205.49	472,687.28	61,468,583.03	1,300,730,205.49	60,995,895.74	8,725,827,894.73	147,691,049.57	0.04689358	336,067,179	15759393.08	472687.2848	206890.2047		
28	2041	10,080,000.00	1,348,736,400.43	422,042.22	56,470,605.43	1,338,656,400.43	56,048,563.21	10,064,484,295.17	203,739,612.78	0.041869268	346,149,194	14493013.27	422042.2186	190265.0989		
29	2042	10,080,000.00	1,387,703,627.06	376,823.41	51,876,905.96	1,377,623,627.06	51,500,082.55	11,442,107,922.22	255,239,695.33	0.037383275	356,533,670	13328396.14	376823.4094	174975.9392		
30	2043	35,000,000.00	1,402,027,341.43	1,168,227.34	46,796,761.88	1,367,027,341.43	45,628,534.54	12,809,135,263.65	300,868,229.87	0.033377924	367,229,680	12257364.3	1168227.336	160915.3727		
31	2044	10,080,000.00	1,409,238,286.07	300,401.31	41,997,721.64	1,399,158,286.07	41,697,320.33	14,208,293,549.72	342,565,550.20	0.029801718	378,246,570	11272397.53	300401.3149	147984.6731		
32	2045	10,080,000.00	1,435,740,967.94	268,215.46	38,203,167.04	1,425,660,967.94	37,934,951.58	15,633,954,517.66	380,500,501.78	0.026608677	389,593,967	10366579.87	268215.4597	136093.0476		
totales		2278840000.00	17912794517.66	1021869350.43	1,402,369,852.21	15633954517.66	380500501.78			9.111594362	4,510,436,258.03	406,401,660.43	1,021,869,350.43	17,656,978		
				VPN	380,5005018 millones de pesos			COSTO POR KM			CUOTA TOTAL					
				12%	TIR	14.3098%			Cuota para recuperación d			0.826295245		Cuota para recupe		57.84066715
					IR	1.37			Cuota máxima			1.133972303		Cuota máxima		79.3780612
					IRI	0.05			Cuota óptima			0.328621031		Cuota óptima		23.00347218
					TRI	5.48%										
				AÑOS	25											

Indicadores de evaluación económica mediante la metodología del análisis costo beneficio utilizando el Manual de Capacidad Vial de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).

AÑOS	COSTOS DE INVERSIÓN Y MTTTO				VALOR PRESENTE (inversión)	VALOR PRESENTE (ingresos)	VN (precios constantes)	VPN (precios actualizados)	VN ACUMULADO (constantes)	VPN ACUMULADO (ACT)	FACTOR DE ACTUALIZACIÓN	BENEFICIOS SOLO CARRETERA NUEVA			
	AÑO	INVERSIÓN Y MTTTO	TOTAL DE INGRESOS	BENEFICIOS CN ACTUALIZADOS								INVERSIÓN ACTUALIZADA	TDPa veh equiv.		
0	2013	425,000,000.00	0.00	425,000,000.00	0.00	-425,000,000.00	-425,000,000.00	-425,000,000.00	-425,000,000.00	-425,000,000.00	1			425000000	1986193.125
1	2014	212,500,000.00	0.00	189,732,142.86	0.00	-212,500,000.00	-189,732,142.86	-637,500,000.00	-614,732,142.86	0.892857143				189732142.9	1826588.32
2	2015	212,500,000.00	0.00	169,403,698.98	0.00	-212,500,000.00	-169,403,698.98	-850,000,000.00	-784,135,841.84	0.797193878				169403699	1679808.902
3	2016	10,080,000.00	169,709,461.12	7,174,744.90	120,795,842.29	159,629,461.12	113,621,097.39	-690,370,538.88	-670,514,744.44	0.711780248	115,719,241	82366669.91	7174744.898	1544824.258	
4	2017	10,080,000.00	174,312,798.15	6,406,022.23	110,778,934.52	164,232,798.15	104,372,912.29	-526,137,740.73	-566,141,832.15	0.635518078	118,757,042	75472247.02	6406022.23	1420686.594	
5	2018	10,080,000.00	179,021,020.58	5,719,662.71	101,581,334.81	168,941,020.58	95,861,672.11	-357,196,720.16	-470,280,160.05	0.567426856	122,031,703	69244065.73	5719662.706	1306524.279	
6	2019	35,000,000.00	183,834,888.28	17,732,089.24	93,136,475.56	148,834,888.28	75,404,386.32	-208,361,831.88	-394,875,773.73	0.506631121	125,204,708	63432601.41	17732089.24	1201535.721	
7	2020	10,080,000.00	188,754,999.26	4,559,680.09	85,383,175.81	178,674,999.26	80,823,495.72	-29,686,832.62	-314,052,278.01	0.452349215	128,439,687	58095951.79	4559680.091	1104983.743	
8	2021	10,080,000.00	193,781,769.07	4,071,142.94	78,265,206.42	183,701,769.07	74,194,063.48	154,014,936.45	-239,858,214.53	0.403883228	131,736,115	53206007.39	4071142.938	1016190.407	
9	2022	10,080,000.00	198,915,408.16	3,634,949.05	71,730,890.31	188,835,408.16	68,095,941.26	342,850,344.62	-171,762,273.28	0.360610025	135,093,263	48715984.89	3634949.052	934532.2488	
10	2023	175,000,000.00	204,155,896.88	56,345,316.40	65,732,734.89	29,155,896.88	9,387,418.48	372,006,241.49	-162,374,854.80	0.321973237	138,510,181	44596571.14	56345316.4	859435.9074	
11	2024	10,080,000.00	209,502,957.85	2,897,759.13	60,227,094.12	199,422,957.85	57,329,334.99	571,429,199.34	-105,045,519.80	0.287476104	141,985,672	40817487.82	2897759.129	790374.0934	
12	2025	10,080,000.00	214,956,025.57	2,587,284.94	55,173,857.84	204,876,025.57	52,586,572.91	776,305,224.91	-52,458,946.90	0.256675093	145,518,269	37350915.13	2587284.937	726861.8895	
13	2026	10,080,000.00	220,514,212.78	2,310,075.84	50,536,166.13	210,434,212.78	48,226,090.29	986,739,437.69	-4,232,856.61	0.22917419	149,106,201	34171292.8	2310075.837	668453.3448	
14	2027	35,000,000.00	226,176,273.29	7,161,693.44	46,280,146.66	191,176,273.29	39,118,453.22	1,177,915,710.98	34,885,596.61	0.204619813	152,747,366	31255137.36	7161693.442	614738.3439	
15	2028	10,080,000.00	460,064,287.81	1,841,578.31	84,052,025.32	449,984,287.81	82,210,447.01	1,627,899,998.79	117,096,043.62	0.182696261	156,439,293	28580873.98	1841578.314	565339.727	
16	2029	10,080,000.00	473,181,883.73	1,644,266.35	77,186,215.23	463,101,883.73	75,541,948.88	2,091,001,882.52	192,637,992.49	0.163121662	160,179,106	26128681.98	1644266.351	519910.6418	
17	2030	10,080,000.00	411,238,654.44	1,468,094.96	59,894,582.79	401,158,654.44	58,426,487.83	2,492,160,536.96	251,064,480.33	0.145644341	222,844,551	32456047.75	1468094.957	478132.108	
18	2031	707,000,000.00	422,337,692.02	91,937,990.21	54,920,620.36	-284,662,307.98	-37,017,369.85	2,207,498,228.97	214,047,110.48	0.13003959	228,845,555	29758982.13	91937990.21	439710.7779	
19	2032	10,080,000.00	433,680,192.58	1,170,356.31	50,353,209.36	423,600,192.58	49,182,853.05	2,631,098,421.56	263,229,963.53	0.110610777	234,555,851	27233523.84	1170356.311	404376.8761	
20	2033	10,080,000.00	445,266,447.44	1,044,960.99	46,159,332.21	435,186,447.44	45,114,371.21	3,066,284,869.00	308,344,334.74	0.103666765	240,354,404	24916763.56	1044960.992	371882.3057	
21	2034	10,080,000.00	457,096,146.57	933,000.89	42,308,641.83	447,016,146.57	41,375,640.94	3,513,301,015.57	349,719,975.68	0.092559612	246,237,406	22791638.7	933000.8857	341998.9062	
22	2035	35,000,000.00	469,168,300.45	2,892,487.86	38,773,246.16	434,168,300.45	35,880,758.30	3,947,469,316.02	385,600,733.98	0.08264251	252,200,377	20842472.33	2892487.865	314516.8512	
23	2036	10,080,000.00	481,481,152.71	743,782.59	35,527,509.99	471,401,152.71	34,783,727.39	4,418,870,468.73	420,384,461.37	0.073787956	258,238,095	19054861.09	743782.5939	289243.1757	
24	2037	10,080,000.00	494,032,082.53	664,091.60	32,547,872.71	483,952,082.53	31,883,781.11	4,902,822,551.26	452,268,242.48	0.065882103	264,344,507	17415572.12	664091.6017	266000.4205	
25	2038	10,080,000.00	506,817,495.37	592,938.93	29,812,680.90	496,737,495.37	29,219,741.97	5,399,560,046.64	481,487,984.45	0.058823307	270,512,645	15912448.26	592938.93	244625.3867	
26	2039	175,000,000.00	517,785,567.45	9,191,141.65	27,194,517.11	342,785,567.45	18,003,375.46	5,742,345,614.08	499,491,359.91	0.052520809	276,734,520	14534320.98	9191141.649	224967.9895	
27	2040	10,080,000.00	531,000,787.39	472,687.28	24,900,527.82	520,920,787.39	24,427,840.53	6,263,266,401.47	523,919,200.44	0.04689358	283,001,006	13270930.26	472687.2848	206890.2047	
28	2041	10,080,000.00	544,435,221.70	422,042.22	22,795,104.05	534,355,221.70	22,373,061.83	6,797,621,623.17	546,292,262.28	0.041869268	290,113,521	12146840.68	422042.2186	190265.0989	
29	2042	10,080,000.00	558,080,423.34	376,823.41	20,862,873.80	548,000,423.34	20,486,050.39	7,345,622,046.50	566,778,312.66	0.037383275	296,498,580	11084087.87	376823.4094	174975.9392	
30	2043	35,000,000.00	571,926,242.89	1,168,227.34	19,089,710.60	536,926,242.89	17,921,483.26	7,882,548,289.39	584,699,795.93	0.033377924	302,897,948	10110104.64	1168227.336	160915.3727	
31	2044	10,080,000.00	585,960,615.71	300,401.31	17,462,632.88	575,880,615.71	17,162,231.57	8,458,428,905.11	601,862,027.49	0.029801718	309,297,031	9217582.823	300401.3149	147984.6731	
32	2045	10,080,000.00	600,169,321.56	268,215.46	15,969,711.36	590,089,321.56	15,701,495.90	9,048,518,226.67	617,563,523.39	0.026608677	315,679,349	8399809.694	268215.4597	136093.0476	
totales		2278840000.00	11327358226.67	1021869350.43	1,639,432,873.82	9048518226.67	617563523.39			9.111594362	6,213,823,191.24	982,584,115.06	1,021,869,350.43	17,666,970	
				VPN	617.5635234 millones de pesos				COSTO POR KM				CUOTA TOTAL		
				12%	TIR	18.1169%			Cuota para recuperación d		0.826295245	Cuota para recuper		57.84066715	
					IR	1.60			Cuota máxima		1.325664174	Cuota máxima		92.79649216	
					IRI	0.28			Cuota óptima		0.794528754	Cuota óptima		55.6170128	
					TRI	28.42%									
				AÑOS	14										



INSTITUTO
MEXICANO DEL
TRANSPORTE



Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>