



Certificación ISO 9001:2015 ‡

**GUIA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS INSUMOS
NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA**

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

**Publicación Técnica No. 485
Sanfandila, Qro., 2016**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**GUIA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS INSUMOS
NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN
ECONÓMICA DE PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA CARRETERA**

**Publicación Técnica No. 485
Sanfandila, Qro., 2016**

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, y Salvador Hernández García, de la Coordinación de Economía de los Transportes y Desarrollo Regional.

El presente tiene por objetivo fundamental, proporcionar una guía práctica con la cual se obtienen los insumos necesarios para la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera.

Contenido

Resumen	ix
Abstract	xi
Resumen ejecutivo	xiii
1. Introducción	1
1.1. Objeto de estudio	1
1.2. Justificación	1
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos particulares	2
1.4. Metodología	3
2. Análisis del nivel de servicio y velocidades de operación	5
2.1 Obtención del FHMD (Factor horario de máxima demanda).	5
2.2 volumen de servicio.	6
3. Nivel de servicio y velocidades de operación en carreteras de dos carriles.	9
4. Nivel de servicio y velocidades de operación en carreteras de carriles múltiples.	13
5. Estimación de las velocidades de operación.	17
6. Ejemplo de análisis generalizado de niveles de servicio y velocidades de operación para carreteras de dos carriles.	19
7. Ejemplo de análisis generalizado de niveles de servicio y velocidades de operación para carreteras de carriles múltiples.	27
8. Estimación de beneficios	33

8.1. Estimación de los beneficios debidos a los ahorros en costos de operación vehicular.	33
8.2. Estimación de los beneficios debidos a los ahorros en tiempos de recorrido.	36
9. Estimación de los costos de inversión y mantenimiento.	39
9.1 Costos de inversión a todo lo largo del horizonte económico.	39
9.2. Costos de mantenimiento.	39
10. Determinación de indicadores económicos.	41
10.1. Valor Presente Neto	41
10.2. Tasa Interna de Retorno	42
10.3. Índice de Rentabilidad	43
10.4 Índice de Rentabilidad Inmediata	44
Conclusiones	47
Bibliografía	49

Índice de cuadros

Cuadro 1	Aforo vehicular.	6
Cuadro 2	Datos Viales de la SCT	8
Cuadro 3.	Factores de hora de máxima demanda para carreteras de dos carriles basados en distribución aleatoria de flujo.	9
Cuadro 4.	Niveles de servicio para análisis generalizado de las carreteras de dos carriles en ambas direcciones.	10
Cuadro 5.	Factores de ajuste por distribución direccional en carreteras de dos carriles.	10
Cuadro 6.	Factores de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y de acotamientos en carreteras de dos carriles.	11
Cuadro 7.	Automóviles equivalentes para análisis generalizado de carreteras de dos carriles.	11
Cuadro 8.	Niveles de servicio asociados a la velocidad del proyecto.	13
Cuadro 9.	Factores de ajuste por restricciones en el ancho de carril y distancia a obstáculos laterales en carreteras de carriles múltiples.	14
Cuadro 10.	Automóviles equivalentes para análisis generalizado de segmentos de autopista.	14
Cuadro 11.	Factor de ajuste para convertir la velocidad del vehículo ligero en velocidad de vehículo pesado.	17
Cuadro 12	Velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos que transitan por la carretera de dos carriles.	25
Cuadro 13.	Velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos que transitan por la carretera de carriles múltiples.	31
Cuadro 14.	Ejemplo de obtención de costo de operación base del vehículo ligero.	34
Cuadro 15.	Costos de mantenimiento y conservación (cifras 2015).	40

Resumen

Para realizar programas y proyectos de inversión con recursos federales en México, es necesaria la elaboración de un documento de evaluación que cumpla con los lineamientos de la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (UISHCP).

Un insumo primordial es la velocidad de operación, ya que a partir de ésta se obtienen los beneficios derivados de la construcción o modernización de una carretera. Para determinar la velocidad de operación vehicular se toma como referencia el Manual de Capacidad Vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). En estos estudios de ingeniería y tránsito es posible determinar la velocidad de operación para diversas condiciones de la infraestructura carretera y del flujo vehicular.

La identificación de los insumos es necesaria para obtener, por un lado, los beneficios debidos a los ahorros en costos de operación vehicular y del valor del tiempo de los usuarios y, por el otro, el costo derivado de la inversión para la construcción, modernización y/o ampliación de la infraestructura carretera.

Finalmente, se recurre a la "Guía general para la preparación y presentación de estudios de evaluación socioeconómica de proyectos carreteros" del Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP).

Palabras clave: Insumos, estudios socioeconómicos, velocidad de operación vehicular, tiempo de viaje de los usuarios, infraestructura carretera.

Abstract

To realize investment programs and projects with federal resources in Mexico is necessary to elaborate an evaluation document that complies with the guidelines of Investment Unit of Finance and Public Credit Ministry (Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público-UIHCP, by its acronym in Spanish).

A prime input is the operation speed because with this information the benefits from construction or modernization of a highway are obtained. To estimate the vehicle operating speed is used to the road capacity manual of Communications and Transportation Ministry (Secretaría de Comunicaciones y Transportes-SCT, by its acronym in Spanish). In these engineering and transit studies is able to determine the operation speed for several conditions of road infrastructure and the characteristics of vehicular flow.

The identification of inputs is necessary to obtain for one hand, the benefits due to savings in vehicle operating costs and the travel time of users and the other hand the cost resulting from the investment for construction, modernization and/or expansion of road infrastructure.

Finally, the "General guide for preparation and presentation of socioeconomics studies of road projects" from Center of Studies for preparation and socioeconomics evaluation of projects (CEPEP, by its acronym in Spanish) is used.

Key words: Inputs, socioeconomics studies, vehicle operating speed, travel time of users, road infrastructure.

Resumen ejecutivo

En este documento se presentan los análisis realizados para determinar los insumos necesarios para la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera.

Se presenta como primer lugar tomando como referencia la publicación técnica No. 458 del Instituto Mexicano del Transporte “*Cálculo de la velocidad de operación como insumo para la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera*”, para la obtención de los niveles de servicio y las velocidades de operación vehicular.

Al haber obtenido las velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos, se recurrirá a las publicaciones No 407 “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2014” y a la No 381 “Actualización de la metodología para estimar el valor del tiempo de los usuarios de la red carretera nacional” del Instituto Mexicano del Transporte, para mostrar la metodología a seguir y para obtener los beneficios derivados del valor del tiempo de las personas y de los costos de operación vehicular.

Con el conocimiento de los beneficios derivados de los costos de operación vehicular y del valor del tiempo de los usuarios, se recurre a la “Guía general para la preparación y presentación de estudios de evaluación socioeconómica de proyectos carreteros” CEPEP, donde se muestran los costos paramétricos que se utilizarán al determinar los costos de construcción, modernización, ampliación y conservación de la infraestructura carretera nacional.

Con la obtención de los datos antes mencionados, el horizonte económico del proyecto y una tasa de actualización propuesta, es posible realizar la evaluación económica para proyectos de infraestructura carretera.

1 Introducción

El proyecto forma parte de la línea de investigación de “Desarrollo metodológico para la evaluación económica y social de proyectos de transporte”, de la coordinación de Economía de los Transportes y Desarrollo Regional.

Este tipo de Desarrollos metodológicos para la evaluación económica y social de proyectos de transporte son de utilidad para que los responsables de la toma de decisiones de las áreas operativas de la SCT, para que realicen los estudios de planeación necesarios para la construcción, modernización y ampliación de la infraestructura carretera.

En este documento tomamos como referencia la publicación técnica No. 458 del Instituto Mexicano del Transporte “*Cálculo de la velocidad de operación como insumo para la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera*”, como referencia para la obtención de los niveles de servicio y las velocidades de operación vehicular.

La obtención del valor del tiempo de las personas y los costos de operación vehicular así como el tener una referencia de los costos de inversión, mantenimiento y operación, son parte de los insumos necesarios para la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera ya que con estos se pueden medir los flujos de efectivo generados.

Al reunir los costos de inversión, operación y mantenimiento de una carretera así como los beneficios derivados de los costos de operación vehicular y el valor del tiempo de las personas, nos permitirán la realización de una evaluación económicamente rentable, frente a los lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión propuestos por la SHCP para, la construcción, modernización, ampliación y conservación de la infraestructura carretera del país.

1.1 Objeto de estudio

El estudio tiene por objetivo fundamental el de proporcionar una herramienta amigable y útil para los responsables de la planeación, construcción y modernización de la infraestructura carretera, que les permita conocer los pasos necesarios para la obtención de los insumos requeridos en la evaluación de proyectos de infraestructura carretera y dar cumplimiento a los lineamientos que solicita la SHCP para la determinación de los indicadores de rentabilidad.

1.2 Justificación

La necesidad de conocer la metodología existente para determinar los insumos necesarios para la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera, es primordial para el desarrollo de nuevos proyectos carreteros, ya que

con este tipo de publicaciones, facilitamos la realización del documento Costo-Beneficio requerido en la SHCP (Secretaría de Hacienda y Crédito Público) para solicitar los recursos para la construcción y modernización de infraestructura carretera.

La obtención de estos insumos es 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 SHCP (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 ampliar, construir y/o modernizar infraestructura carretera.

Pretendiendo 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 utilizada en “GUÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS INSUMOS NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA”, permitirá a los responsables de la toma de decisiones contar con una herramienta amigable y ágil para estimar los flujos de efectivo en la evaluación económica para proyectos de infraestructura carretera.

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 guía para la obtención de los insumos que intervienen en la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera.

1.3.2 Objetivos particulares

Como objetivos particulares se tienen los siguientes:

- A partir de las expresiones consideradas en el Manual de Capacidad Vial de la SCT, se encontraran los niveles de servicio y velocidades de

- operación en que operaría la carretera en análisis a lo largo de su horizonte económico.
- Ilustrar como determinar los beneficios derivados de los ahorros en costos de operación vehicular, presentando un ejemplo de la metodología a seguir.
- Mostrar la manera de determinar los beneficios derivados de los ahorros en valor del tiempo de los usuarios, mostrando un ejemplo de la obtención de los mismos.
- Mostrar el documento en el cual nos basamos para establecer los costos de mantenimiento y construcción que tiene una carretera.
- Destacar el proceso metodológico de la evaluación económica tomando en cuenta los insumos necesarios como son: Valor del tiempo de las personas, costos de operación vehicular, costos de inversión y costos de mantenimiento.

1.4 Metodología

Una vez estimada la velocidad de operación mediante la publicación técnica No. 458 del Instituto Mexicano del Transporte “*Cálculo de la velocidad de operación como insumo para la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera*”.

Se recurrirá a las publicaciones No 407 “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2014” y a la No 381 “Actualización de la metodología para estimar el valor del tiempo de los usuarios de la red carretera nacional” del Instituto Mexicano del Transporte, para mostrar la metodología a seguir para obtener los beneficios derivados del valor del tiempo de las personas y de los costos de operación vehicular.

Conociendo la metodología a seguir para la determinación de los beneficios derivados de los costos de operación vehicular, y del valor del tiempo de los usuarios se recurre a la “Guía general para la preparación y presentación de estudios de evaluación socioeconómica de proyectos carreteros” CEPEP, donde se muestran los costos paramétricos que se utilizaran al determinar los costos de construcción, modernización, ampliación y conservación de la infraestructura carretera nacional.

Conociendo la manera de obtener los insumos necesarios para la evaluación económica se mostrará la manera de obtener los indicadores de rentabilidad requeridos por la unidad de inversiones de la SHCP.

2. Análisis del nivel de servicio y velocidades de operación en carreteras.

Con base en la publicación técnica No. 458 del Instituto Mexicano del Transporte “Cálculo de la velocidad de operación como insumo para la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera”, se ilustra la obtención de los niveles de servicio y las velocidades de operación vehicular.

Las carreteras son aquellas designadas como las vías rurales o suburbanas cuyo tránsito es considerado continuo y las condiciones pueden variar en su separación central y en el número de accesos no controlados.

Para el análisis del nivel de servicio y velocidades de operación en carreteras se toman en cuenta dos metodologías, por una parte está el análisis para las carreteras de dos carriles y por otra parte el análisis para las carreteras compuestas por carriles múltiples, para fines del estudio se contempla la obtención de los niveles de servicio y las velocidades de operación mediante un análisis generalizado.

Con base en el manual de capacidad vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), se determina el nivel de servicio y la velocidad de operación en que se encuentra operando una carretera. 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 dividido entre el FHMD (Factor horario de máxima demanda) constituye el insumo para obtener el volumen de servicio con que cuenta una carretera, el cual permitirá determinar el nivel de servicio y la velocidad de operación en que se encuentra operando una carretera.

2.1. Obtención del FHMD (Factor horario de máxima demanda)

El factor horario de máxima demanda sirve para convertir el volumen horario de máxima demanda en el volumen de servicio.

Para la obtención del FHMD se requiere de un aforo vehicular realizado en la zona de estudio, dicho aforo vehicular debe de contener el volumen de vehículos que pasan en el lugar de estudio a lo largo de un día, este aforo se divide en intervalos de 15 minutos. En el cuadro 1 se muestra el ejemplo de un aforo vehicular.

Cuadro 1. Aforo vehicular.

UBICACIÓN: Carretera 1												
PERIODO DE AFORO: 7:00a.m--7:00a.m												
FECHA: 26 de Octubre de 2015												
ORIENTACIÓN: Sur - Norte												
MOVIMIENTO: Ambas direcciones												
Hora	Minutos		Tipo de Vehículo								Subtotal Periodo	Total Hora
	Del :	Al:	A	B	C2	C3	T2S1	T2S2	T3S2	T2S2R2		
7	0	15	33	6	10	0	5	0	0	0	54	
	15	30	45	6	0	0	1	3	1	0	56	
	30	45	40	6	10	0	1	0	0	0	57	
	45	0	85	6	6	0	10	2	0	1	110	
8	0	15	71	6	12	0	4	0	0	1	94	317
	15	30	73	6	7	0	3	1	1	0	91	
	30	45	50	6	11	0	5	3	0	0	75	
	45	0	80	6	9	0	6	4	0	1	106	

Fuente: Elaboración Propia

Para fines de estudio, este aforo vehicular incluye 2 horas de las 24 horas en que se realizó dicho aforo.

Con la ayuda de estos datos se procede a determinar el FHMD (factor horario de máxima demanda) de la siguiente manera basándonos en el cuadro 1:

- 1) Se identifica la hora con mayor flujo vehicular la cual es de las 7:45am a las 8:45am.
- 2) El aforo vehicular en esta hora es de 370 vehículos, estos vehículos representan el VHMD (volumen horario de máxima demanda).
- 3) De la hora con mayor flujo vehicular se identifica el volumen máximo en un lapso de 15 minutos el cual es de 7:45am a 8:00 am.
- 4) El aforo vehicular en estos 15 minutos es de 110 vehículos, estos representan el Q_{15max} (volumen máximo durante 15 minutos).

Teniendo identificados estos datos se obtiene el FHMD (factor horario de máxima demanda mediante la siguiente expresión.

$$FHMD = VHMD / (4 Q_{15m\acute{a}x}) \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

FHMD: Factor horario de máxima demanda.

VHMD: Volumen horario de máxima demanda.

Q_{15max} : Volumen máximo durante 15 minutos.

2.2. Volumen de servicio

- Con la ayuda de un aforo vehicular.

Es el máximo volumen de vehículos que puede transitar sobre una carretera en un lapso de 1 hora.

Con ayuda del FHMD (Factor horario de máxima demanda) se puede obtener el Volumen de servicio con la siguiente expresión:

$$VS = \frac{VHMD}{FHMD} \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

FHMD: Factor horario de máxima demanda.

VHMD: Volumen horario de máxima demanda.

VS: Volumen de servicio.

Con la ayuda del VS (Volumen de servicio) y el “Manual de Capacidad Vial” de la SCT, es posible obtener el nivel de servicio y las velocidades de operación.

- *Con la ayuda de los datos viales de la SCT.*

En caso de no contar con un aforo vehicular se puede recurrir a los datos viales de la SCT, en donde podemos encontrar información de la carretera tales como:

- 1.- LUGAR: Contiene los nombres de los puntos generadores, como son, ciudades, poblaciones y entronques.
- 2.- Km: Kilómetro del punto generador antes referido.
- 3.- TE (Tipo de Estación): Considerando el sentido en que crece el kilometraje de la carretera, el número “1” indica que el aforo fue efectuado antes del punto generador, el “2” que fue realizado en el punto generador y el “3” que el aforo se llevó a cabo después del punto generador.
- 4.- SC (Sentido de Circulación): El número “1” indica que los datos corresponden al sentido de circulación en que crece el cadenamiento del camino, el “2” al sentido en que decrece el kilometraje y el “0” a ambos sentidos.
- 5.- TDPA: Es el tránsito diario promedio anual registrado en el punto generador.
- 6.- CLASIFICACION VEHICULAR: Se refiere a los tipos de vehículos que integran al tránsito los cuales son: “A” “B” “C2” “C3” “T3S2” “T3S3” “T3S2R4”.
- 7.- K’: Este factor es útil para determinar el volumen horario de proyecto, el dato que se proporciona es aproximado y se obtuvo a partir de relacionar los volúmenes horarios más altos registrados en la muestra de aforo semanal y el tránsito diario promedio anual.

8.- D (Factor Direccional): Este factor se obtuvo de dividir el volumen de tránsito horario en el sentido de circulación más cargado entre el volumen en ambos sentidos a la misma hora.

9.- COORDENADAS: Se presentan las coordenadas geográficas del sitio de ubicación del equipo de aforo automático. Adicionalmente, se presentan algunos histogramas de los puntos más representativos de los aforos de muestra semanal que indican la variación en porcentaje de los volúmenes registrados por día de la semana.

Cuadro 2. Datos Viales de la SCT

6 CARR: Querétaro - San Luis Potosí				CLAVE: 00165	RUTA: MEX-057										AÑO: 2014					
LUGAR	ESTACION				CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO														COORDENADAS	
	KM	TE	SC	TDPA	M	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS	A	B	C	K'	D	LATITUD	LONGITUD
Querétaro	0.00																			
T. Der. Libramiento de Querétaro	6.28	3	1	42894	0.8	89.6	0.6	3.5	0.9	2.0	1.6	0.2	0.8	90.4	0.6	9.0	0.079	0.505	20.636726	-100.428729
T. Der. Libramiento de Querétaro	6.28	3	2	43695	0.9	88.8	0.6	3.7	1.1	2.1	1.7	0.2	0.9	89.7	0.6	9.7	0.075	0.505	20.636683	-100.428989
T. Izq. Juriquilla	15.63	3	1	29597	0.6	82.5	1.9	10.0	1.5	2.4	0.7	0.3	0.1	83.1	1.9	15.0	0.097	0.513	20.704647	-100.437259
T. Izq. Juriquilla	15.63	3	2	31192	0.4	86.1	0.2	3.1	1.0	4.0	3.0	0.6	1.6	86.5	0.2	13.3	0.071	0.513	20.704646	-100.437262
T. Izq. San Miguel de Allende	28.53	1	1	24423	0.6	79.6	2.0	10.3	1.8	3.6	1.0	0.8	0.3	80.2	2.0	17.8	0.136	0.505	20.809258	-100.448818
T. Izq. San Miguel de Allende	28.53	1	2	23942	0.3	78.4	2.1	10.9	1.9	3.9	1.2	1.0	0.3	78.7	2.1	19.2	0.105	0.505	20.810012	-100.449039
T. Izq. San Miguel de Allende	28.53	3	1	17300	0.8	65.3	3.1	10.4	2.9	11.2	2.7	2.6	1.0	66.1	3.1	30.8	0.070	0.503	20.823907	-100.445706
T. Izq. San Miguel de Allende	28.53	3	2	17514	0.9	61.0	3.3	11.8	3.1	13.0	3.0	2.9	1.0	61.9	3.3	34.8	0.079	0.503	20.823892	-100.445729
Lim. Edos. Term. Oro. Ppia. Gto.	36.70																			
X. C. San José Iturbide - El Arenal	46.83	1	1	17032	1.1	66.9	3.2	4.1	2.9	14.6	2.9	3.4	0.9	68.0	3.2	28.8	0.061	0.502	20.969508	-100.429423
X. C. San José Iturbide - El Arenal	46.83	1	2	17192	1.1	63.0	3.7	4.7	3.3	16.4	3.2	3.5	1.1	64.1	3.7	32.2	0.062	0.502	20.969510	-100.429423
X. C. Ent. San Miguel de Allende - Dr. Mora	61.93	1	1	14295	2.0	63.0	5.2	7.4	3.3	11.2	4.6	2.4	0.9	65.0	5.2	29.8	0.072	0.519	21.077291	-100.513120
X. C. Ent. San Miguel de Allende - Dr. Mora	61.93	1	2	15449	2.6	59.9	5.3	7.8	3.5	12.4	4.8	2.6	1.1	62.5	5.3	32.2	0.070	0.519	21.077303	-100.513104
X. C. San Luis de La Paz - Guanajuato	86.68	1	1	12503	1.1	69.0	4.2	5.3	2.5	12.6	2.6	2.2	0.5	70.1	4.2	25.7	0.074	0.506	21.282189	-100.591727
X. C. San Luis de La Paz - Guanajuato	86.68	1	2	12810	1.1	66.2	4.6	5.7	2.9	13.4	3.1	2.5	0.5	67.3	4.6	28.1	0.076	0.506	21.282188	-100.591724
T. Izq. San Diego de La Unión	119.07	3	1	10061	2.4	66.3	3.6	5.2	3.6	11.6	4.1	2.3	0.9	68.7	3.6	27.7	0.053	0.509	21.539109	-100.746055
T. Izq. San Diego de La Unión	119.07	3	2	9716	1.3	63.9	3.9	5.4	4.1	13.2	4.4	2.7	1.1	65.2	3.9	30.9	0.064	0.509	21.539105	-100.746055

Fuente: Datos viales SCT 2015

Con la ayuda del TDPA (Transito diario promedio anual) y el factor k' se puede obtener el volumen de servicio con el cual opera cualquier carretera referida en los datos viales, al ser una aproximación de los volúmenes horarios más altos queda a consideración si es necesario el dividirlo por el FHMD (factor horario de máxima demanda) proporcionado en el "Manual de Capacidad Vial" de la SCT.

$$VS = TDPA * K' \dots\dots\dots (3)$$

Dónde:

VS: Volumen de servicio.

TDPA: Transito diario promedio anual.

K': Factor K'

Al contar con la clasificación vehicular y el volumen de servicio en el que opera una carretera es posible determinar los niveles de servicio y las velocidades de operación en carretera.

3. Nivel de servicio y velocidades de operación en carreteras de dos carriles.

Las carreteras de dos carriles se componen de un carril por sentido, y los rebases a los vehículos de menor velocidad se realizan mediante el carril destinado al tránsito opuesto, los rebases dependen de las características geométricas así como de las zonas de rebase restringido en las cuales no se permite el rebase de vehículos.

En la expresión diseñada para obtener el nivel de servicio en carreteras de dos carriles se consideran particularidades de este tipo de carreteras.

La expresión para el análisis de carreteras de dos carriles es la siguiente:

$$(VS)_i = C \frac{V}{C} f_D f_A f_P f_{VP} \dots \dots \dots (4)$$

Dónde:

(VS)_i= Volumen de servicio para el nivel de servicio i, en vph (vehículos por hora) 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 3.

Cuadro 3. 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

Fuente: Manual de Capacidad Vial de la SCT

C = Capacidad en condiciones ideales en ambas direcciones, la cual es de 2800 vehículos por hora en ambas direcciones.

$(V/C)_i$ = Máxima relación Volumen/Capacidad Asociada al nivel de servicio i. Se obtiene del cuadro 4, 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 4. 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	0.12	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)										

Fuente: Manual de Capacidad Vial de la SCT

FD= Factor de ajuste por efecto de la distribución direccional. Se obtiene del cuadro 5, de acuerdo con la distribución observada, que usualmente varía entre 55/45 y 70/30; aunque en caminos turísticos puede ser hasta de 80/20.

Cuadro 5. 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	

Fuente: Manual de Capacidad Vial de la SCT

FA= Factor de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y acotamientos o distancia a obstáculos laterales. Se obtiene del cuadro 6

Cuadro 6. 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

Fuente: Manual de Capacidad Vial de la SCT

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

F_{vp} = Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados. Para análisis generalizados se obtiene de la siguiente expresión.

$$f_{VP} = (P_p + P_c E_c + P_r E_r + P_b E_b)^{-1} \quad (5)$$

Donde:

P_p , P_c , P_r y P_b = las proporciones de automóviles, camiones, vehículos recreativos y autobuses.

E_c , E_r y E_b = Los automóviles equivalentes respectivos, que se obtienen del cuadro 7.

Cuadro 7. Automóviles equivalentes para análisis generalizado de carreteras de dos carriles.

Tipo de Vehículo	Símbolo	NS	Plano	Lomerío	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

Fuente: Manual de Capacidad Vial de la SCT

Con el cuadro 4 se obtiene el nivel de servicio para la carretera deseada.

Al obtener el volumen V_{Si} para cada uno de los niveles de servicio, es posible comparar el volumen de servicio derivado de los aforos 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.

4. Niveles de servicio y velocidades de operación en carreteras de carriles múltiples

Las carreteras de carriles múltiples son aquellas que tienen dos o más carriles por sentido, no cuentan con un control de acceso y pueden o no tener separación central, estas condiciones hacen que pueda variar el flujo del tránsito, provocando que la velocidad de operación sea menor que en las autopistas.

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 la carretera a partir del volumen de servicio dado por un aforo previo o al análisis de los datos viales de la SCT, conociendo estos datos se parte de la expresión básica para el análisis de carreteras de carriles múltiples mostrada con la expresión 6 siguiente.

$$V_{Si} = C * \frac{v}{c} * N * f_a * f_{VP} * f_c \quad (6)$$

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 8.

Cuadro 8. 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							

Fuente: Manual de Capacidad Vial de la SCT

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 9.

Cuadro 9. Factores de ajuste por restricciones en el ancho de carril y distancia a obstáculos laterales en carreteras de carriles múltiples.

N ambos sentidos	distancia libre lateral	obstaculos en un lado, anchos de carril, en m			
		3.5	3.3	3.0	2.7
4	1.80	1.00	0.95	0.89	0.77
	1.20	0.98	0.94	0.88	0.76
	0.60	0.95	0.92	0.86	0.75
	0.00	0.88	0.85	0.80	0.70
6	1.80	1.00	0.95	0.89	0.77
	1.20	0.99	0.94	0.88	0.76
	0.60	0.97	0.93	0.86	0.75
	0.00	0.94	0.90	0.83	0.72

Fuente: Manual de Capacidad Vial de la SCT

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

$$f_{vp} = \frac{1}{1+PC(EC-1)+PB(EB-1)+PR(ER-1)} \quad (7)$$

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 10.

Cuadro 10. Automóviles equivalentes para análisis generalizado de segmentos de autopista.

Tipo de Vehiculo	Simbolo	Terreno		
		Plano	Lomerio	Montañoso
Camón	Ec	1.7	4	8
Autobus	Eb	1.5	3	5
Recreativo	Er	1.6	3	4

Fuente: Manual de Capacidad Vial de la SCT

El volumen de servicio se obtiene utilizando la expresión 8.

$$VS = \frac{V}{FHMD} \quad (8)$$

En donde VS es el volumen de servicio en vph

V= volumen horario

FHMD= Factor de hora de máxima demanda.

Una vez estimado el VS se procede a obtener la relación v/c con la expresión (8)

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

$$\frac{v}{c} = \frac{VDM}{C \times N \times f_A \times f_C \times f_{VP}} \quad (9)$$

Y con el cuadro 8 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 (6), mismos que permitirán conocer qué nivel y velocidad de operación tiene el VS.

5. Estimación de las velocidades de operación.

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 referenciados en el cuadro 11.

Cuadro 11. Factor de ajuste para convertir la velocidad del vehículo ligero en velocidad de vehículo pesado.

TIPO DE VEHICULO	VELOCIDAD EN CONDICIONES IDEALES km/h	FACTOR DE AJUSTE
A	85	1.000
B	80	0.941
C2	69	0.812
C3	65	0.765
T3S2	73	0.859
T3S3	65	0.765
T3S2R4	54	0.635

Fuente: Elaboración propia con base en la publicación técnica No 368. Del IMT

Se tomó como referencia la publicación técnica No 368, “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2014”.

6. Ejemplo del análisis generalizado de niveles de servicio y velocidades de operación para carreteras de dos carriles:

Características de la carretera a analizar	
Velocidad de proyecto(km/h)	90
Ancho de calzada (m)	6.00
Ancho de Corona (m)	7.20
Tipo de terreno	Plano
Restricción a rebases (%)	50
Volumen Horario	350
Distribución direccional (%)	50/50
Composición (A, B, C, R) (%)	80,10,10,0
Factor horario de máxima demanda	0.905

Para carreteras de dos carriles (uno por sentido) se parte de la expresión 4.

$$(VS)_i = C \frac{V}{c} f_D f_A f_P f_{VP}$$

Con la ayuda de esta ecuación y los siguientes pasos es posible determinar la velocidad de operación y el nivel de servicio al cual opera la carretera con las anteriores características.

1.- Aplicando la expresión 2 y con ayuda del volumen horario y el FHMD (factor horario de máxima demanda), se obtiene el V_s (volumen de servicio) de la carretera en análisis:

$$V_s = \frac{350}{0.905} = 387$$

2.- La capacidad en carreteras de dos carriles en ambos sentidos es de 2800 vph (vehículos por hora, por lo tanto $C=2800$).

3.- Contamos con una restricción de rebases del 50% y un tipo de terreno plano, con la ayuda de estos datos se determina la relación v/c (Volumen capacidad) con el cuadro 4 siguiente.

Cuadro 4. Niveles de servicio para análisis generalizado de las carreteras de dos carriles en ambas direcciones.

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

Relaciones volumen capacidad ligadas a los niveles de servicio.

NS	C	v/c
A	2800	0.08
B	2800	0.2
C	2800	0.35
D	2800	0.6
E	2800	1

4.- La carrterea tiene una distribución direccional de 50%/50%, por lo tanto los factores de ajuste por distribución direccional en carreteras de dos carriles son los siguientes:

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

Por lo tanto los factores de ajuste por distribución direccional en carreteras de dos carriles son:

NS	C	v/c	fD
A	2800	0.08	1
B	2800	0.2	1
C	2800	0.35	1
D	2800	0.6	1
E	2800	1	1

5.- La carretera a analizar cuenta con un ancho de calzada de 6.00m y un ancho de corna de 7.20 m, entrando con estos datos al cuadro 6 se obtienen los factores de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y de acotamientos en carreteras de dos carriles “fA”,

Cuadro 6. Factores de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y de acotamientos en carreteras de dos carriles.

		ANCHO DE CARRIL, EN M Y NIVEL DE SERVICIO							
Ancho de acotamiento		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

NS	C	v/c	fD	fA
A	2800	0.08	1	0.68
B	2800	0.2	1	0.68
C	2800	0.35	1	0.68
D	2800	0.6	1	0.68
E	2800	1	1	0.81

6.- Como el analisis es generalizado el factor de ajuste por efecto sobre los automóviles de la pendiente en tangentes verticales “fP”. Es igual a uno.

NS	C	v/c	fD	fA	fP
A	2800	0.08	1	0.68	1
B	2800	0.2	1	0.68	1
C	2800	0.35	1	0.68	1
D	2800	0.6	1	0.68	1
E	2800	1	1	0.81	1

7.- El factor de ajuste por efecto de vehículos pesados es de suma importancia para este análisis ya que con este se obtiene la equivalencia de vehículos pesados a vehículos ligeros, el cual se obtienen con la expresión 5:

$$fVP = (Pp + PcEc + PrEr + PbEb)^{-1} \quad (5)$$

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 10.

Cuadro 10. Automóviles equivalentes para análisis generalizado de segmentos de autopista

Tipo de Vehículo	Símbolo	NS	Plano	Lomerío	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

Para este caso se cuenta con un tipo de terreno plano y un porcentaje de vehículos A = 80%, B = 10%, C = 10%, R = 0%

Con estos datos obtenemos los siguientes factores de auste por efecto de vehiculos pesados ligados a los niveles de servicio:

NS	Pp	Pc	EC	Pb	EB	fVP
A	80%	10%	2	10%	1.8	0.85
B	80%	10%	2.2	10%	2	0.82
C	80%	10%	2.2	10%	2	0.82
D	80%	10%	2	10%	1.6	0.86
E	80%	10%	2	10%	1.6	0.86

8.-Con la obtención de los datos que forman la ecuación 4 para determinar el volumen de servicio para cada nivel de servicio, se procede a determinar los volúmenes de servicio correspondientes a cada nivel de servicio.

$$(VS)_i = C \frac{v}{c} f_D f_A f_P f_{VP}$$

NS	C	v/c	fD	fA	fP	fVp	vs
A	2800	0.08	1	0.68	1	0.85	129
B	2800	0.2	1	0.68	1	0.82	312
C	2800	0.35	1	0.68	1	0.82	546
D	2800	0.6	1	0.68	1	0.86	985
E	2800	1	1	0.81	1	0.86	1955

Los volúmenes de servicio calculados serán únicamente para las características de esta carretera, los cuales se compararán con el volumen de servicio de la misma, determinado en el primer paso de este ejemplo.

9.- El Volumen de servicio de esta carretera es de 387 (vph) vehiculos por hora en ambas direcciones.

$$V_s = \frac{350}{0.905} = 387$$

Por lo tanto la carretera cuenta con un nivel de servicio “C”.

10.- Contando con el nivel de servicio se procede a determinar la velocidad de operación de los vehículos ligeros, ya que en este análisis se realizó la conversión de los vehículos pesados que circulaban por la carretera a vehículos ligeros.

Apoyándonos en el cuadro 4, y conociendo el tipo de terreno, los volúmenes de servicio ligados a los niveles de servicio, las velocidades de operación para cada nivel de servicio y el volumen de servicio de la carretera a estudiar, se procede a determinar la velocidad de operación mediante una interpolación.

Cuadro 4. Niveles de servicio para análisis generalizado de las carreteras de dos carriles en ambas direcciones.

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

NS	Vel	vs
A	93	129
B	88	312
C	83	546
D	80	985
E	72	1955

$$Vel = \left[\left(\frac{88 - 83}{546 - 312} * (546 - 386) \right) \right] + 83 = 86.41 \text{ km/h}$$

La velocidad de operación de los vehículos ligeros en la carretera estudiada es de 86.41 km/h.

11.- Con la obtención de la velocidad de operación de los vehículos ligeros, se calcula la velocidad de operación de los diferentes vehículos que conforman el TDPA (transito diario promedio anual) de la carretera, aplicando los factores de ajuste contenidos en el cuadro 11.

Factor de ajuste para convertir la velocidad del vehículo ligero en velocidad de vehículo pesado

TIPO DE VEHICULO	VELOCIDAD EN CONDICIONES IDEALES km/h	FACTOR DE AJUSTE
A	85	1.000
B	80	0.941
C2	69	0.812
C3	65	0.765
T3S2	73	0.859
T3S3	65	0.765
T3S2R4	54	0.635

Tomando en cuenta que la velocidad de operación de los vehículos ligeros es de 86.41 km/h se tiene que las velocidades de los diferentes vehículos que conforman el TDPA son los referidos en el cuadro 12.

Cuadro 12. Velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos que transitan por la carretera de dos carriles.

TIPO DE VEHICULO	FACTOR DE AJUSTE	VELOCIDAD km/h
A	1.000	86.41
B	0.941	81.33
C2	0.812	70.14
C3	0.765	66.08
T3S2	0.859	74.21
T3S3	0.765	66.08
T3S2R4	0.635	54.90

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto la carretera cuenta con un nivel de servicio "C" y las velocidades de operación anteriormente mencionadas en el cuadro 12. Lo cual supone que la carretera estudiada contiene fluidez pero no queda exenta de que en un futuro no muy lejano se acerque a la capacidad máxima de la misma por lo que deben de planearse mejoras.

7. Ejemplo del análisis generalizado de niveles de servicio y velocidades de operación para carreteras de carriles múltiples:

Características de la carretera a analizar	
Velocidad de proyecto(km/h)	110
Carriles por sentido	2
Ancho de carril (m)	3.00
Distancia libre lateral (m)	0.60
Tipo de terreno	Plano
Volumen Horario por sentido	2100
Composición (A, B, C, R) (%)	80,10,10,0
Factor horario de máxima demanda	0.905

1.- El primer paso es obtener el VS (volumen de servicio el cual se obtien con la ayuda de la ecuación 2.

$$VS = \frac{2100}{0.905} = 2320$$

Vs
2320

2.- Para la determinació de las velocidades de operación y nivel de servicio para carrteras de carriles multiples se utiliza la expresión 6.

$$VSi = C * \frac{v}{c} * N * fa * fVP * fc \quad (6)$$

3.- Como no conocemos la relación v/c , pero si conocemos el volumen de servicio el cual es de 2320 vph (vehículos por hora), se despeja la ecuación 6. teniendo la ecuación 10. Siguiente:

$$\frac{v}{c} = \frac{VSi}{C * N * fa * fVP * fc} \quad (10)$$

4.- La capacidad por carril en condiciones ideales es de 2000 aphpc (automóviles por hora por carril), para velocidades de proyecto de 90 km/h o mayores y de 1900 aphpc (automóviles por hora por carril) para velocidades menores, como en la carretera a analizar contamos con una velocidad de proyecto de 110 km/h, la capacidad es de 2000 aphpc (automóviles por hora por carril), por lo tanto $C=2000$.

Vs	C
2320	2000

5.- La carretera cuenta con 2 carriles por sentido por lo tanto $N=2$.

Vs	C	N
2320	2000	2

6.- La carretera cuenta con un ancho de carril de 3.00m y una distancia libre lateral de 0.60 m, con estos datos se obtiene el factor de ajuste por restricciones en el ancho de carril y distancia a obstáculos laterales en carreteras de carriles múltiples. El factor de ajuste se obtiene a partir del cuadro 9, tal y como se muestra en el tabulado siguiente

Factores de ajuste por restricciones en el ancho de carril y distancia a obstáculos laterales en carreteras de carriles múltiples.

N ambos sentidos	distancia libre lateral	obstaculos en un lado, anchos de carril, en m			
		3.5	3.3	3.0	2.7
4	1.80	1.00	0.95	0.89	0.77
	1.20	0.98	0.94	0.88	0.76
	0.60	0.95	0.92	0.86	0.75
	0.00	0.88	0.85	0.80	0.70
6	1.80	1.00	0.95	0.89	0.77
	1.20	0.99	0.94	0.88	0.76
	0.60	0.97	0.93	0.86	0.75
	0.00	0.94	0.90	0.83	0.72

El factor de ajuste por restricciones en el ancho de carril y distancia a obstáculos laterales en carreteras de carriles múltiples es de $f_a=0.86$

Vs	C	N	fA
2320	2000	2	0.86

7.- Para determinar el factor de ajuste por efecto de vehículos pesados f_{VP} se utiliza la ecuación 7.

$$f_{vp} = \frac{1}{1+PC(EC-1)+PB(EB-1)+PR(ER-1)} \quad (7)$$

La carretera cuenta con un tipo de terreno plano y un porcentaje de vehículos A=80%, B=10%, C=10%, R=0%.

Con esta clasificación vehicular y con la ayuda del cuadro 10, se obtiene el factor de ajuste por efecto de vehículos pesados, tal y como se muestra a continuación:

Automóviles equivalentes para análisis generalizado de segmentos de autopista

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

Pc	Ec	Pb	Eb	f_{VP}
0.1	1.7	0.1	1.5	0.89

Por lo tanto mi factor de ajuste por efecto de vehículos pesados es de $f_{VP}=0.89$.

Vs	C	N	fA	f_{VP}
2320	2000	2	0.86	0.89

8.-Con la obtención de los datos que forman la ecuación 10 se determina la relación v/c (volumen capacidad).

$$\frac{v}{c} = \frac{VS_i}{C * N * f_a * f_{VP} * f_c} \quad (10)$$

Vs	C	N	f _A	f _{VP}	v/c
2320	2000	2	0.86	0.89	0.76

9.- Teniendo como dato la velocidad de proyecto que es de 110 km/h, y conociendo la relación v/c (volumen capacidad) de 0.76 se ingresa al cuadro 8 y se compara la relación v/c (volumen capacidad) obtenida y la relación v/c (volumen capacidad) de cada nivel de servicio, para así conocer el nivel de servicio en el que opera la carretera, como se muestra:

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	87	0.38	79	0.34	79	0.45
B	13	82	0.56	75	0.50	66	0.61
C	19	76	0.73	68	0.66	62	0.80
D	27	67	0.90	61	0.83	55	1.00
E	42	48	1.00	48	1.00	45	1.00
F							

Para una velocidad de operación de 110 km/h y una relación v/c (volumen capacidad) de 0.76 se determina que el nivel de servicio en el que opera la carretera es de tipo "D".

10.- La velocidad de operación en la que opera la carretera se determina mediante una interpolación de los valores entre los que se encuentra la relación v/c (volumen capacidad) obtenida y al relación v/c (volumen capacidad) ligada a los niveles de servicio.

$$Vel = \left[\left(\frac{76 - 67}{0.90 - 0.73} * (0.90 - 0.76) \right) \right] + 67 = 74.41 \text{ km/h}$$

11.- Con la obtención de la velocidad de operación de los vehículos ligeros, se calcula la velocidad de operación de los diferentes vehículos que conforman el TDPA (transito diario promedio anual) de la carretera, aplicando los factores de ajuste contenidos en el cuadro 11.

TIPO DE VEHICULO	VELOCIDAD EN CONDICIONES IDEALES km/h	FACTOR DE AJUSTE
A	85	1.000
B	80	0.941
C2	69	0.812
C3	65	0.765
T3S2	73	0.859
T3S3	65	0.765
T3S2R4	54	0.635

Tomando en cuenta que la velocidad de operación de los vehículos ligeros es de 74.41 km/h se tiene que las velocidades de los diferentes vehículos que conforman el TDPA son los referidos en el cuadro 13. Siguiendo:

Cuadro 13. Velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos que transitan por la carretera de carriles múltiples.

TIPO DE VEHICULO	FACTOR DE AJUSTE	VELOCIDAD km/h
A	1.000	74.41
B	0.941	70.03
C2	0.812	60.40
C3	0.765	56.90
T3S2	0.859	63.91
T3S3	0.765	56.90
T3S2R4	0.635	47.27

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto la carretera cuenta con un nivel de servicio "D" y las velocidades de operación anteriormente mencionadas en el cuadro 13. Por lo que la carretera analizada de una mejora inmediata en sus características para poder conservar una correcta velocidad de operación.

8. Estimación de beneficios

Los beneficios obtenidos en la construcción o mejora de una cartera se ven reflejados al comparar las situaciones con y sin proyecto, los cuales no se obtendrían en el caso de no realizar dicha mejora o construcción.

Los beneficios identificables a este tipo de proyectos se reflejan en el aumento de las velocidades de operación, teniendo así, ahorros en tiempos de recorrido y en costos de operación vehicular.

Para la estimación de los beneficios debidos a los costos de operación vehicular se recurre a la publicación técnica del IMT No. 471 "*Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2016*"

Para cuantificar los beneficios por ahorros en tiempo de recorrido se utiliza la publicación técnica del IMT, No. 381 "*Actualización de la metodología para estimar el valor del tiempo de los usuarios de la red carretera nacional*".

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

Para la determinación de los costos de operación vehicular se requiere de conocer las velocidades de operación, las cuales se mencionan en los capítulos del 2 al 7.

Primero se definen los costos de operación vehicular sin la presencia del proyecto, y después se calculan los costos de operación vehicular con la presencia del proyecto, cuando las condiciones con proyecto son, donde la carretera debe de trabajar con una velocidad de operación adecuada a las necesidades de esta.

Para determinar los costos de operación vehicular se recurre a la publicación técnica No. 471 "*Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2016*",

La publicación No 471 toma como referencia los modelos matemáticos desarrollados por el Banco Mundial en 1987 en donde se realizó un programa de computo denominado Vehicle Operating Costs (VOC, por sus siglas en inglés) Adaptando dicho programa a las características mexicanas, obteniendo así los costos de operación base y los factores de ajuste a estos, según las características de la carretera a estudiar.

Los costos de operación base para los diferentes tipos de vehículos contenidos en la publicación No. 471 fueron obtenidos de la publicación y se encuentran de la siguiente manera:

Cuadro 14. Ejemplo de obtención de costo de operación base del vehículo ligero.

Vehículo ligero

URVAN Nissan, con motor de 139 HP

Llantas Firestone convencionales

Consumos, por cada 1,000 veh-km

Consumo de combustible	litros	172.08
Uso de lubricantes	litros	1.85
Consumo de llantas	núm llantas nuevas equivalentes	0.06
Tiempo de operador	horas	10.68
Mano de obra de mantenimiento	horas	2.15
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.14
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.40
Intereses (tasa 1.53%)	% precio vehículo nuevo	0.02

Costos unitarios en pesos, precios 2016

Precio de vehículo nuevo	\$	232 335.00
Costo de combustible	\$/litro	11.05
Costo de lubricantes	\$/litro	27.30
Costo de llanta nueva	\$/llanta	970.00
Tiempo de operador	\$/hora	23.29
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	22.10
Tasa de interés anual	%	1.53
Costos indirectos por veh-km	\$	0.36

Costo de operación base (pesos, por veh-km) \$ 3.96

Consumo de combustible	\$	1 901.46
Uso de lubricantes	\$	50.55
Consumo de llantas	\$	58.05
Tiempo de operador	\$	248.81
Mano de obra de mantenimiento	\$	47.59
Refacciones	\$	334.85
Depreciación	\$	919.09
Interés	\$	42.19
Costos indirectos	\$	360.00

Fuente: Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2016

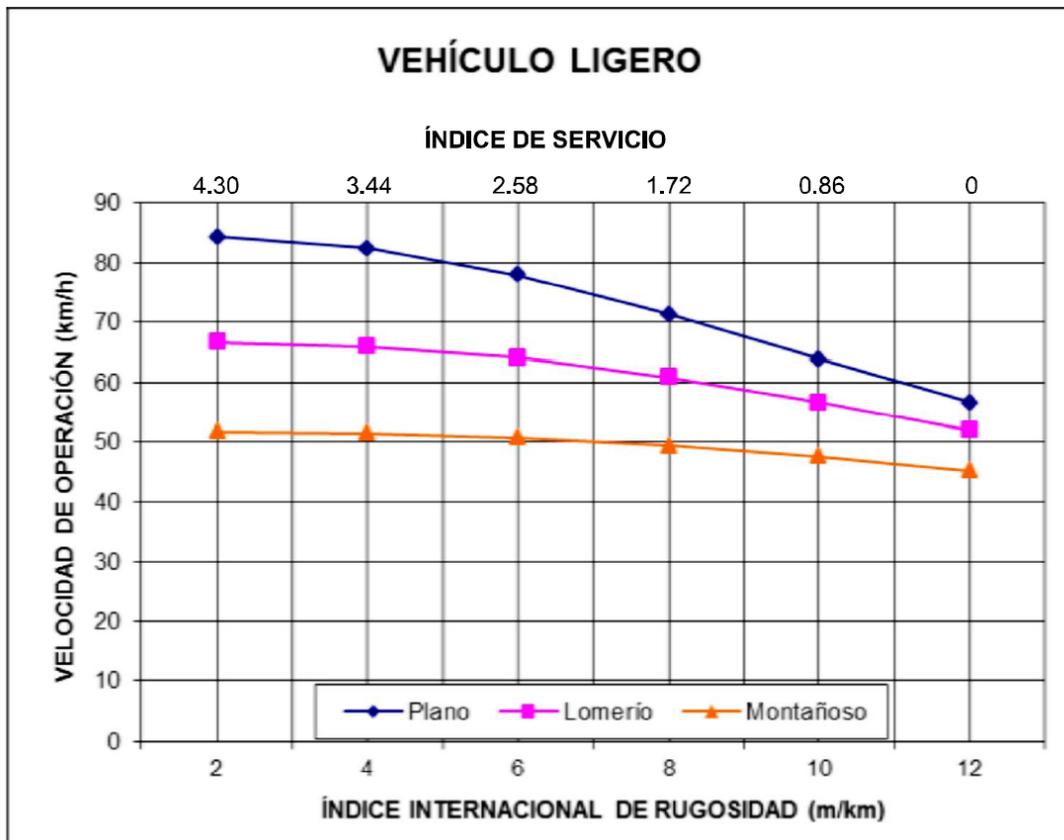
Para determinar el costo de operación vehicular se contemplan dos gráficas por tipo de vehículo.

Asociando la velocidad de operación y el tipo de terreno en la gráfica 1 para así obtener un índice internacional de rugosidad, con esto, se asocia el índice internacional de rugosidad y el tipo de terreno en la gráfica 2, obteniendo así el factor del costo de operación, con el cual se afecta el costo de operación base del tipo de vehículo estudiado.

Datos en gráfica 1:

- La velocidad de operación (km/h)
- El índice internacional de rugosidad (m/km).
- Tipo de camino (plano, lomerío, montañoso)

Gráfica 1.

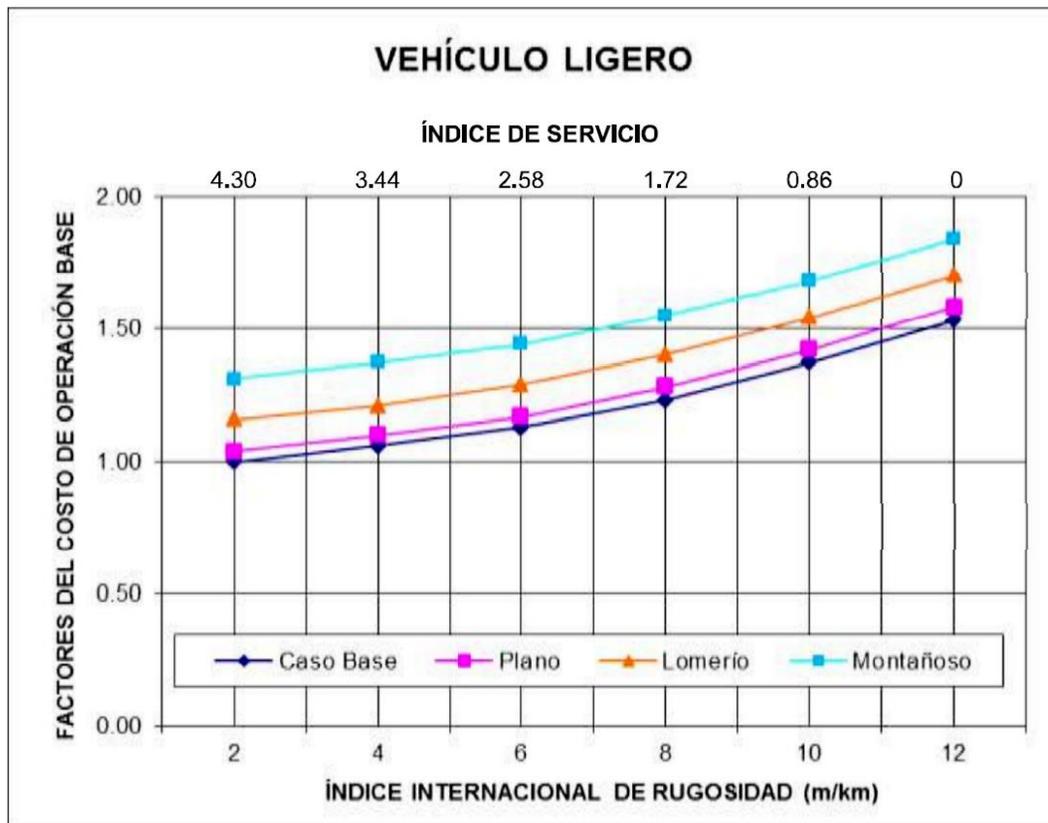


Fuente: Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2016

Datos en gráfica 2:

- Los factores del costo de operación base
- El índice internacional de rugosidad (m/km).
- Tipo de camino (plano, lomerío, montañoso)

Gráfica 2.



Fuente: Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2016

Teniendo los costos de operación vehicular con y sin proyecto se obtienen los beneficios debido a los costos de operación vehicular.

8.2 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 dos escenarios uno con proyecto y la alternativa actual sin proyecto.

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.

Los beneficios debidos al tiempo de recorrido de las personas se obtienen únicamente del ahorro en tiempos de recorrido de los vehículos “A” y “B”, los cuales son los que transportan personas, ya que el tiempo de recorrido de los choferes en los vehículos de carga vienen contemplados 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):

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

Valor del tiempo por motivo de placer (VTpp):

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

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

Donde:

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

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

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

$$\text{HTP}_{\text{censo2010}} = \text{promedio de las horas trabajadas por semana} = 41.444$$

$$\text{FIP}_{\text{censo2010}} = \text{factor de ajuste del ingreso promedio de la población} = 3.367$$

$$\text{SMGP} = \text{salario mínimo general promedio (en pesos diarios)}$$

En el año 2017, 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 \$73.04, 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.

$$SHP(2012) = (3.367 * 60.50 * 7) / 41.444 = 41.54$$

$$VTpp(2012) = (0.3*2)*(3.367*[60.50 / (41.444 / 7)]) = 24.92$$

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

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=	(FIP*SMPG*7)/HTP		SHP=	41.54	
Valor del tiempo por motivo de placer (VTpp):					
VTpp=	0.3*H		VTpp=	24.92	
DONDE					
H=	ingreso horario familiar = 2*FIP*SMH			83.074981	
SMH=	salario mínimo por hora (en pesos) = SMGP / PHTD			12.336647	
PHTD=	promedio de horas trabajadas diarias = 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)=			73.04	PUBLICADO POR CONASAMI 2016

Fuente: *Elaboración propia*

9. 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.

9.1 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.

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.

9.2 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 15. Costos de mantenimiento y conservación (cifras 2015)

Costos de inversión y mantenimiento (millones de pesos de 2015, sin IVA)		
Costo	Monto	
inversión	150.49	
Mantenimiento	Conservación	1.43 anualmente
	Riego de sello	4.77 (años 4,12,20,28)
	Sobrecarpeta	16.69 (años 8,24)
	Reconstrucción	47.7 (año 16)

Fuente: guía general para la presentación de estudios de evaluación socioeconómica de programas y proyectos de inversión: análisis costo–beneficio actualización 2013

10. 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.

10.1 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.

10.2 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)

10.3 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.

10.4 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:

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

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).

Conclusiones

El presente estudio permitirá contar con una guía para la obtención de los insumos necesarios para la evaluación de proyectos de infraestructura carretera así como su importancia en la evaluación económica de para proyectos de infraestructura carretera.

Con esto se pretende tener la difusión sobre la metodología a utilizar, esperando recomendaciones por parte de la misma Secretaría, así como de los diferentes consultores especializados en el área.

Con la guía para la determinación de los diferentes insumos que conforman la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera, el responsable de la toma de decisiones podrá analizar con más rapidez y precisión los diferentes tipos de proyectos a realizar, para así poder aprobar o descartar los proyectos con mayor facilidad.

Al contar con una metodología de los procedimientos a seguir para la obtención de los insumos necesarios que intervienen en el proceso de evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera, permiten a los analistas de proyectos de inversión actuar de manera más ágil en la justificación de proyectos de infraestructura carretera necesaria para poder proceder al registro en la cartera de inversiones ante la unidad de inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), garantizando con ello una aplicación responsable de los recursos económicos con que se cuenta; en beneficio de los usuarios de este tipo de infraestructura.

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>>

CEPEP. *Guía general para la preparación y presentación de estudios de evaluación socioeconómica de proyectos carreteros.* Actualización 2015.

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 GONZALEZ, J. “*Cálculo de la velocidad de operación como insumo para la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera*” Publicación técnica N° 458, Instituto Mexicano del Transporte, 2015.

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.



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

publicaciones@imt.mx

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