

01168



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE  
MEXICO**

---

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**“UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA  
EVALUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DE LOS  
PROYECTOS CARRETEROS, CON BASE EN EL  
INDICE DE ACCIDENTES; UN ESTUDIO DE CASO”**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERIA**

**(INVESTIGACION DE OPERACIONES)**

**P R E S E N T A.**

**MARIO DANIEL VITE ARROYO**



**DIRECTOR DE TESIS: DR. JAVIER SUAREZ ROCHA**

**MÉXICO D.F.**

**2005**

m347547



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recensional.

NOMBRE: MARIO DANIEL VITE  
ARROYO

FECHA: 6/SEPTIEMBRE/2005

FIRMA: 

A mis padres.....

A mis hermanos.....

A mi esposa.....

A mis hijos.....

A mi director de tesis.....

A mis amigos.....

A mí amada Universidad.

*Con determinación y perseverancia se vencen obstáculos y se alcanzan metas inimaginables.....*

Daniel Vite Arroyo

## **Abstract**

The central objective of this document is to contribute a simple procedure for the estimation of the costs by accidents presented in a highway, based on the index of accidents, to complement the benefits waited for in a socioeconomic evaluation of wagon projects of public investment.

The present work takes like the value of a life to the associate to the guarantee granted by a banking institution, or in its case, by an insurer; from the same form injuries and the material damages are obtained corresponding to. Nevertheless, the developed efforts to make specific a methodology that contains wreck factors which they are agreed with the reality, still is in a primary stage, since they do not exist sufficient information that it verifies a more approximate economic value of a human life.

From the use of this model, one will require of one better approach of the value associated to the life and injuries of the people through new methodologies that are developed in the short term, with the purpose of diminishing possible variations in the considered benefits.

## **Presentación**

El objetivo central de este documento es aportar un procedimiento sencillo para la estimación de los costos por accidentes presentados en una carretera en función del índice de accidentes, con la finalidad de complementar los beneficios esperados en una evaluación socio-económica de proyectos carreteros de inversión pública.

El presente trabajo toma como el valor de una vida al asociado a la fianza otorgada por una institución bancaria, o en su caso, por una aseguradora; de la misma forma se obtienen los correspondientes a lesiones y daños materiales. Sin embargo, los esfuerzos desarrollados para concretar una metodología que contenga factores de siniestro que estén acordes con la realidad, aún se encuentra en una etapa primaria, dado que no existen información suficiente que compruebe un valor económico más aproximado de una vida humana.

A partir del uso de este modelo, se requerirá de una mejor aproximación del valor asociado a la vida y lesiones de las personas a través de nuevas metodologías que se desarrollen en el corto plazo, con la finalidad de minimizar posibles variaciones en los beneficios considerados.

# **UNA PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA EVALUACION SOCIO-ECONOMICA DE PROYECTOS CARRETEROS CON BASE EN EL INDICE DE ACCIDENTES: UN ESTUDIO DE CASO**

## **Objetivo:**

Elaborar una propuesta metodológica para evaluar desde un punto de vista socio-económico los proyectos carreteros, tomando en cuenta el índice de accidentes para una mejor valoración de los beneficios.

## **Índice:**

### **Introducción.**

#### **I. Planteamiento del problema.**

- I.1. Formulación de la problemática.
- I.2. Expresión de la realidad.
- I.3. Identificación y Jerarquización.
- I.4. Estrategias de solución.

#### **II. Evaluación convencional de proyectos de inversión pública.**

- II.1. Aspectos Generales.
- II.2. Evaluación técnica de un proyecto de inversión pública.
- II.3. Evaluación económica de un proyecto de inversión pública.
  - II.3.1. Estimación de los beneficios del proyecto.
  - II.3.2. Estimación de los costos del proyecto.
  - II.3.3. Obtención de indicadores de evaluación.
- II.4. Análisis de sensibilidad.

### **III. Estimación de beneficios adicionales en proyectos de inversión pública considerando el índice de accidentes.**

III.1. Introducción.

III.2. Aspectos generales.

III.3. Análisis para el cálculo de la tendencia del índice de accidentes.

III.4. Valor económico de los accidentes presentados en una carretera.

### **IV. Estudio de caso (Análisis de factibilidad aplicado al tramo carretero San Luis Río Colorado-Mexicali de la carretera Sonoita-Mexicali).**

IV.1. Descripción de los trabajos.

IV.2. Análisis de Factibilidad.

IV.2.1. Evaluación Técnica.

IV.2.1.1. Análisis de Demanda.

IV.2.2. Evaluación Económica.

IV.2.2.1. Análisis de Sensibilidad.

### **V. Conclusiones y recomendaciones.**

**Bibliografía**

**Anexos**

## **Introducción.**

México cuenta con un vasto sistema de transporte en el que resulta claro el amplio predominio del modo carretero en comparación con otros. Ello se explica primordialmente por sus grandes ventajas, como gran accesibilidad, mayor rapidez y amplia cobertura. La red carretera nacional se ha desarrollado de manera gradual a lo largo de varias décadas; comunica hoy gran parte de las regiones y comunidades del país, aunque persiste un importante rezago.

La construcción y modernización de la red federal carretera son actividades indispensables para el buen funcionamiento de la economía y la integración nacional; actualmente, muchos caminos requieren de ampliaciones o mejoramiento de sus especificaciones en toda su longitud o en ciertos tramos, sobre todo para superar la saturación que registran, abatir rezagos que debilitan la competitividad nacional y mejorar la seguridad de los usuarios. En algunos casos es necesaria la construcción de nuevas carreteras con trazos apropiados para atender las condiciones de circulación del tránsito actual. Se busca incrementar la disponibilidad de vías modernas y de altas especificaciones, que permitan disminuir costos asociados al transporte de carga y pasaje e impulsar la producción, el comercio y el desarrollo de las actividades recreativas.

El sistema nacional de carreteras representa el principal medio de transporte de personas y bienes en el país, ya que lo integra social, económica y culturalmente. Es el elemento fundamental de las cadenas de producción y distribución de mercancías en todo el territorio nacional y hacia el exterior. Comunica a las capitales de los estados, cabeceras municipales, zonas urbanas y rurales, puertos, fronteras y aeropuertos así como a los principales centros de producción y consumo. Atiende al 91.2% del movimiento de pasajeros y 83.0% de la carga terrestre, en él se generan 2,400 millones de viajes-persona y 400 millones de toneladas transportadas al año<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Anuario Estadístico 2003, Secretaría de Comunicaciones y Transportes.



Un requisito indispensable para el desarrollo económico del país es la modernización de la infraestructura del transporte ya que esto permitirá mejorar las condiciones de vida de la población, reducir los costos de transporte y sus externalidades, incrementar la competitividad nacional y mejorar la integración regional y sectorial.

Los principales aspectos de la problemática en la red federal de carreteras son el deficiente estado físico en que se encuentran, las limitaciones geométricas y de capacidad de una longitud importante de los corredores que constituyen sus tramos más utilizados y la todavía insuficiente cobertura.

Por lo anterior, es necesario contar con nuevas herramientas que permitan actuar eficientemente en la solución de las problemáticas ocasionadas por factores clave en el incumplimiento de mediano y largo plazo para la atención del sistema carretero, como son:

- ✓ Incertidumbre en el entorno macroeconómico.
- ✓ Acción pública aislada del desarrollo.
- ✓ Sistema financiero ineficaz en el apoyo del aparato productivo.
- ✓ Ausencia de planeación regional.
- ✓ Insuficiencia presupuestal.
- ✓ Falta en la liberación del derecho de vía.
- ✓ Condiciones climatológicas.
- ✓ Obtención de permisos en materia de impacto ambiental, INAH, etc.
- ✓ Integración de elementos para la rentabilidad de los proyectos carreteros.
- ✓ Atrasos imputables a las empresas contratistas.
- ✓ Tiempo transcurrido en la autorización de movimientos presupuestales, etc.

Puesto que el espíritu de este trabajo es conciliar teoría y praxis, una parte esencial del mismo está destinada a desarrollar un estudio de caso. De hecho, es el estudio de caso el que marcó las necesidades y las premisas que debían ser contempladas en la metodología diseñada. De esta manera se puede afirmar que la metodología y el estudio de caso están íntimamente ligados.

Una vez que nuestro estudio de caso es de origen multicausal e inestructurado; nos enfrentamos a una serie de restricciones implícitas dentro de los mismos sistemas que interactúan en nuestro problema. Por un lado, existen diversas variables que a pesar de ser conocidas e identificadas, están prácticamente fuera del círculo de acción del tomador de decisiones o son en muchos casos incontrolables. Ante esta limitante, hay que aumentarle la presencia de variables extrañas que se encuentran siempre latentes en cualquier sistema de actividad humana; estas variables están por definición fuera de toda previsión y generalmente también de nuestro campo de acción.

En el estudio de caso nos enfrentamos a una realidad cambiante y de incertidumbre, es decir, los sistemas estudiados son dinámicos y volátiles, es por ello, que un aspecto importante de la metodología propuesta está dirigida a atender sólo una de las problemáticas detectadas, con la finalidad de apoyar la ejecución de proyectos carreteros, a través de una mejor valoración de los beneficios del mismo.

Es importante puntualizar que la metodología que se ha desarrollado en este trabajo no busca soluciones globales o totales, sino más bien prefigura lineamientos de acción, a fin de solucionar ciertos aspectos específicos de la problemática detectada.

## **Capítulo I. Planteamiento del Problema.**

### **I. Formulación de la problemática.**

Como ya se ha mencionado, la construcción y modernización de carreteras impulsa la economía de un país; no obstante, en la actualidad estas actividades no se desarrollan de acuerdo con las necesidades que requiere el país en la correcta modernización de la infraestructura carretera, por lo que es necesario identificar las causas que impiden concretar los proyectos carreteros de la amplia cartera con que cuenta la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Es claro que existen múltiples factores que limitan la correcta ejecución de las obras carreteras, dado que nos enfrentamos a un sistema en el que intervienen actividades humanas que no se desarrollan de una manera correcta, es decir, nos estamos enfrentando a un *problema*.

Por lo anterior, como primer paso se elaborará un diagrama en el cual se exprese el funcionamiento actual de nuestro sistema “la construcción y modernización de carreteras”. Para ello, se realizaron entrevistas y talleres de discusión con especialistas de diversas áreas de la SCT, así como observaciones del trabajo en las mismas, a fin de establecer cuales son las interacciones entre los elementos del sistema, la identificación de las tareas y las herramientas usadas.

### **II. Expresión de la realidad.**

Como resultado de las actividades antes descritas, se construyó un modelo conceptual que representa la visión de los diversos actores en relación al funcionamiento actual del sistema.

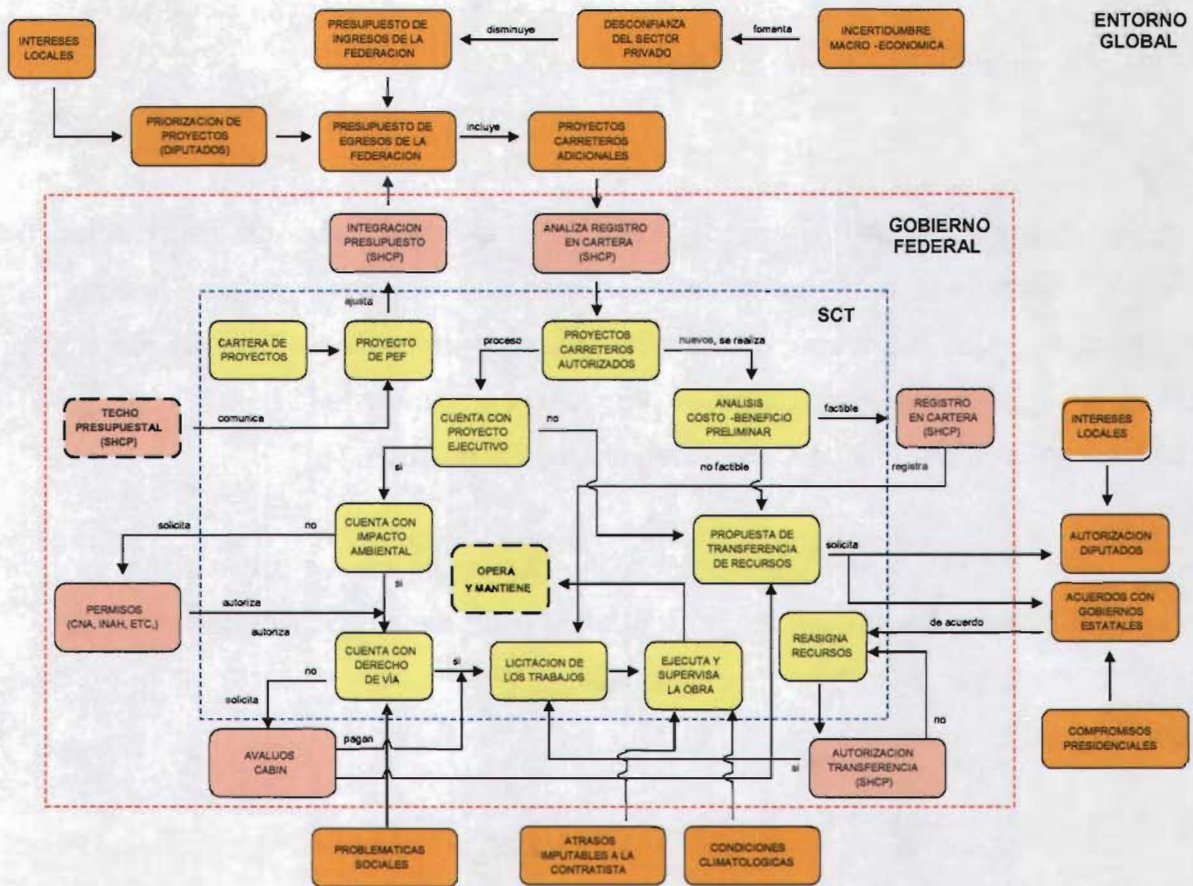


Figura I.1. Mapa conceptual para la construcción de una carretera

En este mapa se puede ver que nos enfrentamos a un sistema complejo en el que intervienen diversas dependencias del ejecutivo federal, la iniciativa privada, el poder legislativo y la sociedad, entre otros. Por lo anterior, será necesario delimitar aún más el campo de acción de nuestro estudio, dado que sólo queremos contribuir al mejoramiento de una de las múltiples variables que truncan la ejecución de un proyecto carretero.

Es importante recalcar que para estar en posibilidades de llegar a la conclusión y operación de un proyecto carretero, es necesario contar con una serie de requerimientos, como los que se mencionan a continuación:

- ✓ Suficiencia presupuestal.
- ✓ Registro en la cartera de programas y proyectos de la SHCP.
- ✓ Proyecto ejecutivo.
- ✓ Permisos de impacto ambiental, INAH, etc.
- ✓ Derecho de vía liberado.
- ✓ Empresas contratistas sanas.
- ✓ Adecuaciones presupuestales autorizadas en tiempo.
- ✓ Buenas condiciones climatológicas.
- ✓ Otras.

Dada su complejidad, estas variables pasan a ser subsistemas de nuestro sistema, y dentro de cada uno de estos se tendrá una gran diversidad de factores que pueden retardar o interrumpir la continuidad de nuestros proyectos.

Entonces, será necesario delimitar aún más el marco conceptual de nuestro estudio, por lo que, mediante una matriz de priorización se analizará en cual o cuales subsistemas la SCT tiene facultades para estructurarlo y mejorarlo.

Cuadro I.1 Matriz de priorización

<b>Subsistema</b>	<b>Priorización</b>
Suficiencia presupuestal.	3
Registro en la cartera de programas y proyectos de la SHCP.	1
Proyecto ejecutivo.	2
Permisos de impacto ambiental, INAH, etc.	3
Derecho de vía liberado.	2
Empresas contratistas sanas.	2
Adecuaciones presupuestales autorizadas en tiempo.	3
Buenas condiciones climatológicas.	3
Otras.	3

1. Relación directa con los resultados del subsistema.
2. Relación indirecta con los resultados del subsistema (intervienen otras dependencias).
3. No existe relación con los resultados del subsistema.

En la matriz de priorización se puede ver que existen subsistemas cuyos campos de acción quedan fuera de la SCT "3"; otros que aunque la SCT participa constantemente en la obtención de resultados, existen otras dependencias que truncan o retardan la obtención de resultados "2"; y subsistemas, en los cuales se tiene intervención total para la obtención de resultados "1", como es el caso del proceso de registro de los proyectos en la cartera de la SHCP.

Tomando en consideración esta priorización, nuestro estudio se limitará solamente a la contribución que podamos realizar para estructurar y mejorar el subsistema "Registro en la cartera de programas y proyectos de la SHCP", que a partir de este momento se convierte en nuestro sistema de análisis.

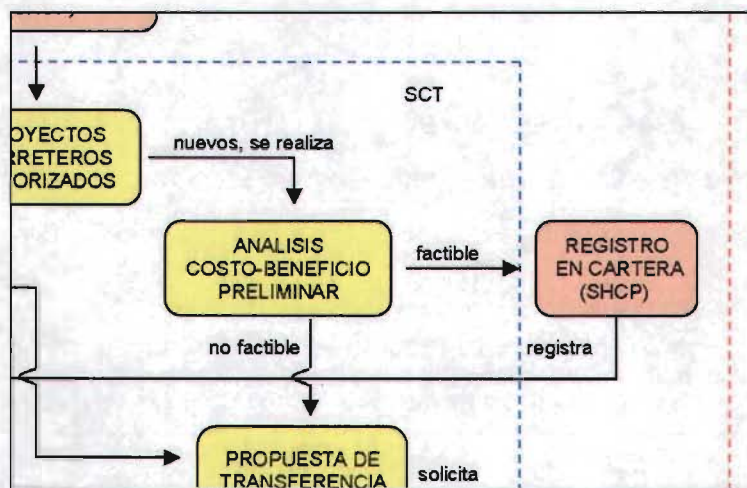


Figura I.2. Subsistema del registro en cartera

Una vez que se ha particularizado nuestro campo de acción, se realiza una evaluación de nuestro nuevo sistema, con la finalidad de definir cual es el estado actual del mismo.

A continuación se detalla el nuevo mapa teórico, tomando en cuenta el análisis realizado anteriormente.

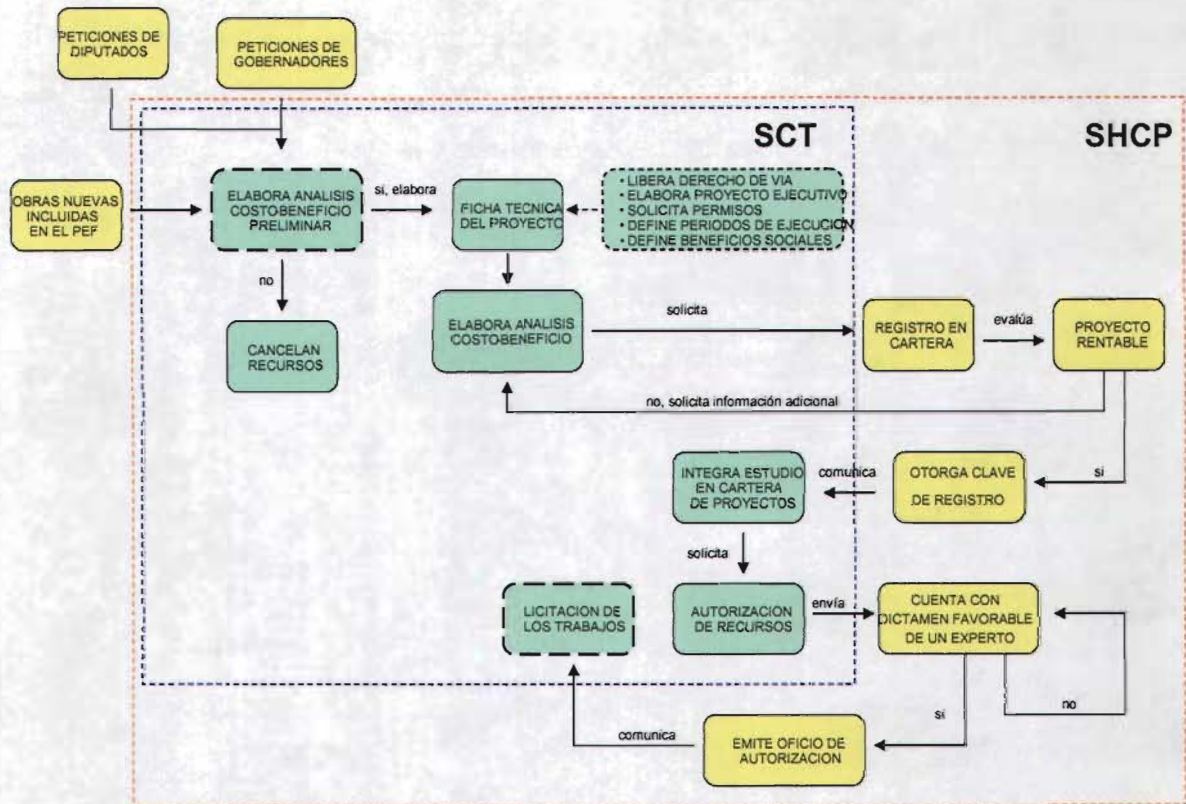


Figura I.3. Mapa conceptual del registro de proyectos en la cartera de proyectos de la SHCP

En el mapa conceptual se observa que la elaboración del análisis costo-beneficio puede representar un cuello de botella en la obtención de la autorización de los recursos para estar en posibilidades de ejecutar un proyecto carretero, tomando en consideración que la revisión del análisis de factibilidad puede requerir información adicional, o en su caso, no este del todo claro.

Es importante puntualizar que aunque hasta ahora conocemos el estado actual en que opera la SCT, para la obtención del registro de las obras en la cartera de proyectos de la SHCP; este no es el principal problema que limita la ejecución de la infraestructura carretera. Sin embargo, la contribución de este estudio se enfoca en identificar los beneficios obtenidos por la reducción en la incidencia de accidentes como resultado de la modernización y construcción de la infraestructura carretera e incluirlos en el análisis costo-beneficio.

A partir de la lluvia de ideas aportadas por especialistas de diversas áreas de la SCT, en relación a las posibles causas que afectan la rentabilidad de los proyectos, se construyó el siguiente mapa de relaciones:

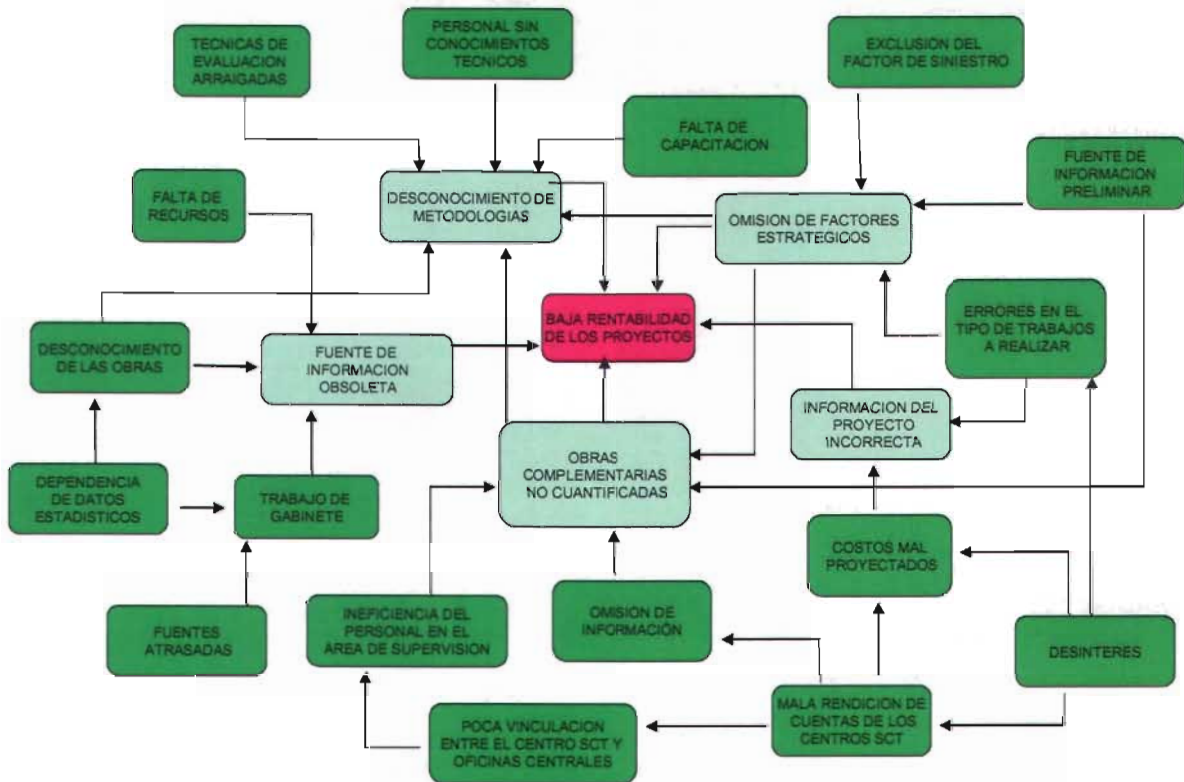


Figura I.4. Mapa de relaciones

### III. Identificación y jerarquización.

De forma preliminar se observa que las dificultades que interactúan en la situación problemática son los siguientes:

a) Omisión de factores estratégicos. Las evaluaciones costo-beneficio muestran un análisis conservador, basado en los beneficios por ahorros en los costos de operación vehicular y por ahorros en tiempos de recorrido de los usuarios; sin incluir factores adicionales que aumenten los beneficios de un proyecto de tal magnitud.



b) Desconocimiento de metodologías. La falta de capacitación del personal que realiza las evaluaciones, la contratación de personal sin conocimientos técnicos origina incertidumbre en los resultados obtenidos de las mismas.

c) Obras complementarias no cuantificadas. En varios proyectos los costos superan por mucho a los programados. Esta desviación entre las inversiones programadas y el costo real se debe usualmente a la falta de información con proyectos ejecutivos definitivos, el desinterés del personal encargado de las obras y el centralismo.

d) Fuentes de información obsoleta. La fuente de información para las evaluaciones debe ser actualizada anualmente, dado que los índices utilizados son dinámicos y varían constantemente, así mismo, debe existir una vinculación entre el personal que elabora los estudios de factibilidad con las obras.

A fin de delimitar la causa principal que limita el correcto desarrollo de nuestro sistema, nos apoyaremos de la siguiente matriz de jerarquización:

### Matriz de jerarquías

+ Importante + Fáciles de implementar	+ Importante - Fáciles de implementar
<b>Factores estratégicos</b>	<b>Desconocimiento de metodologías</b>
- Importante + Fáciles de implementar	- Importante - Fáciles de implementar
<b>Fuente de información obsoleta</b>	<b>Obras complementarias no cuantificadas</b>

#### **IV. Estrategias de solución.**

Las causas correspondientes al desconocimiento de metodologías, fuentes de información obsoleta y obras complementarias no cuantificadas, se excluyen de nuestro estudio, tomando en consideración que el personal encargado de la evaluación socio-económica de los proyectos carreteros en la SCT, cuenta con el servicio civil de carrera, es decir, ya existe una estrategia de mejora que consiste en la permanente capacitación y la contratación del personal acorde a una estricta valoración de capacidades que requiere el puesto a ocupar.

Por lo anterior, el campo de acción que deberá mejorarse y controlarse, es la inclusión de factores estratégicos que aporten a nuestro estudio de factibilidad de nuevas herramientas que aumenten los beneficios obtenidos por la construcción y/o modernización de los proyectos carreteros, tomando en cuenta la reducción de accidentes y siniestros implícitos en la modernización de las carreteras del país.

## **Capítulo II. Evaluación convencional de proyectos de inversión pública.**

### **II.1. Aspectos generales.**

Un proyecto de inversión es el proceso de búsqueda y hallazgo de una solución inteligente al planteamiento de un problema, con la intención de resolver una de muchas necesidades humanas, es indispensable entender que tal acción debe tomarse con una base de decisión que justifique la aplicabilidad del proyecto, dado que la limitación de los recursos disponibles obliga a destinarlos conforme a su mejor aprovechamiento.

### **II.2. Evaluación técnica de un proyecto de inversión pública.**

En esta parte del estudio se pretende resolver las preguntas referentes a dónde, cuánto, cuándo, cómo y con qué ejecutar lo que se desea, por lo que el aspecto técnico operativo de un proyecto comprende todo aquello que tenga relación con el funcionamiento y la operatividad del propio proyecto. Para ello se subdivide a su vez en: determinación del tamaño y localización óptima del proyecto, ingeniería del proyecto y análisis administrativo.

La determinación de un tamaño y localización óptima es fundamental en esta parte del estudio. Aquí es necesario plantear una serie de alternativas, comenzando con la situación actual y la situación considerando el proyecto a desarrollar. Recuerde que los análisis deben ser integrales, pues si se realizan desde un solo punto de vista conducirán a resultados poco satisfactorios. Tomando en cuenta que la localización óptima de un proyecto es la que contribuye en mayor medida a que se logre la mayor tasa de rentabilidad sobre el capital u obtener el costo unitario mínimo.

Sobre la ingeniería del proyecto se puede decir que, técnicamente, existen diversos proyectos que pueden aplicarse para solucionar la problemática. La elección de alguno de ellos dependerá en gran parte de la disponibilidad de capital.

Algunos de los aspectos que no se analizan con profundidad en los estudios de factibilidad son el organizativo, el administrativo y el legal. Esto se debe a que son considerados aspectos que por su importancia y delicadeza merecen ser tratados a fondo en la etapa de proyecto definitivo. Esto no implica que deba pasarse por alto, sino, simplemente, que debe mencionarse la idea general que se tiene sobre ellos.

### **II.3. Evaluación económica de un proyecto de inversión pública.**

La metodología para la evaluación socio-económica de proyectos públicos está acorde con los lineamientos estipulados con los requerimientos formulados por el Banco Mundial para países en desarrollo.

Fundamentalmente, la evaluación consiste en confrontar los beneficios que aporta el proyecto respecto de la situación actual del sistema contra los costos de inversión y conservación que se requieren para desarrollar el proyecto, cuantificados en su equivalente económico y valuados a lo largo de la vida útil, estimada convencionalmente en 30 años.

Con lo anterior, la decisión de efectuar la inversión dependerá de que los beneficios del proyecto cuantificados en términos monetarios, superen en todo momento a los costos de ejecución y conservación.

Para llevar a cabo el análisis de los beneficios, costos e indicadores económicos, se emplea una hoja síntesis codificada en la hoja de cálculo electrónico Microsoft Excel. La hoja de cálculo contiene también fórmulas para evaluar el flujo de efectivo que se genera por los saldos anuales de los beneficios y sus costos, y aplica automáticamente los principales indicadores de rentabilidad.

### II.3.1. Estimación de los beneficios del proyecto

Como se explicó en otros apartados, los beneficios que se evalúan en un proyecto pueden ser de diversos tipos y normalmente el evaluador desea incluir una amplia gama de beneficios marginales, especialmente de carácter social.

- ✓ Beneficios al tránsito generalizado: Ahorros en costos de operación.
- ✓ Beneficios al usuario: Ahorros en tiempos de traslado.

Tras de estos conceptos, existe una vasta filosofía que el Banco Mundial ha plasmado en sus proyectos a lo largo de los países en desarrollo. Tal discusión queda fuera de los alcances de la presente evaluación por lo que sólo se menciona que se dan por aceptados y se explicará en qué consisten cada uno de ellos.

Previamente es necesario comentar que los beneficios de un proyecto de inversión carretero depende directamente del incremento que pueda lograrse en la velocidad de operación y que sólo dos factores permiten que dicha velocidad se incremente:

- ✓ El mejoramiento de las superficies de rodamiento del tránsito
- ✓ El mejoramiento de la relación capacidad vial / tránsito vehicular

El primer factor es posible cuando se realizan obras de pavimentación (sellados, bacheos, reencarpetados, reconstrucciones o construcciones de pavimentos). Para el modelo de evaluación, los efectos de "mejoramiento" se miden a través de la rugosidad del pavimento bajo un indicador I denominado Índice Internacional de Rugosidad (IRI) cuyas unidades son m/Km. obtenido directamente con mediciones de aparatos especiales o indirectamente, de calificaciones in situ, a través del ISA (Índice de Servicio Actual), estableciendo correlaciones entre ambos indicadores.

El segundo factor se logra por lo menos con alguna de las diez opciones siguientes:

1. Ampliación física de la sección vial en tramos críticos.
2. Construcción de pasos vehiculares a desnivel de acuerdo con alguna de sus múltiples variantes.
3. Ampliación física de intersecciones mediante mejoras geométricas.
4. Regulación y coordinación del flujo vial en intersecciones (instalación de semáforos computarizados o electrónicos, reducción de movimientos direccionales, canalización de vueltas izquierdas, sincronía de corredores, temporización flexible del reparto en ciclos de semáforos, etc.)
5. Reasignación de tránsitos vehiculares formando pares viales, hacia otras vialidades o construyendo nuevas alternativas.
6. Reasignación de tránsitos vehiculares en rutas alternas de transporte público o de carga o calzadas específicas por modo.
7. Circulación continua, semi-continua en tramos viales mediante el cierre parcial o total de calles transversales.
8. Incremento ordenado de la oferta de transporte público.
9. Construcción de sistemas de transporte HOV (High Occupancy Vehicles) ó canalización del transporte público hacia carriles exclusivos.

10. Regulación de maniobras de ascenso/descenso de los servicios de transporte público de superficie. (reubicación de terminales, establecimiento de paradas fijas, construcción de bahías, construcción de lanzaderas, etc.)

Para las obras carreteras, la propuesta de acciones se concentra en actividades relativas a la construcción y mejoramiento de la superficie de rodamiento y de los tipos definidos en los incisos 1, 2, 3, 4, 5 y 10.

La cuantificación de los beneficios parte de evaluar los costos de operación vehicular que se obtienen para la situación actual (sin proyecto) y la situación a futuro (con proyecto) valuando el costo de operación diferencial al simular el incremento de velocidades de circulación a causa de las obras de pavimentación y/o las mejoras operativas a la vialidad.

Respecto de los valores parametrizados de los costos de operación, su cálculo proviene de acuerdo a los lineamientos descritos en la publicación técnica No. 202 del Instituto Mexicano del Transporte.

Simultáneamente, los incrementos en la velocidad de operación del tránsito general contribuyen a mejorar las velocidades de operación del transporte público, con lo que se disminuyen el tiempo de traslado de los usuarios que viajan a bordo.

La estimación de los ahorros en tiempos de recorrido de los usuarios que se obtienen para la situación actual (sin proyecto) y la situación a futuro (con proyecto), parte de las mediciones en campo de las frecuencias de paso de las unidades y el registro de ocupaciones observadas visualmente en el punto de medición.

Respecto de los valores parametrizados de los costos en tiempos de recorrido, su cálculo proviene de acuerdo a los lineamientos descritos en la publicación técnica No. 274 del Instituto Mexicano del Transporte.

### II.3.2. Estimación de los costos del proyecto

Para efectos de la evaluación económica, los costos del proyecto se clasifican en costos de inversión y costos de mantenimiento y conservación.

Los costos de inversión se refieren a los que se derivan del anteproyecto, proyecto ejecutivo, la liberación del derecho de vía, permisos, construcción, suministro, instalación, pruebas y supervisión necesaria para poner en operación las acciones o mejoras sugeridas para reducir los costos de operación vehicular y los tiempos de traslado de usuarios.

Los costos de mantenimiento y conservación se refieren a las actividades que se llevarán a cabo para prevenir o corregir deterioros de la infraestructura que se propone construir o instalar durante el período de evaluación. Para el caso de los proyectos de ciudades medias, el período de evaluación es de 30 años y los costos de este rubro se valoran como un porcentaje fijo de los costos de inversión que se encuentra insertado en la hoja de cálculo electrónico.

### II.3.3. Obtención de indicadores de evaluación

El diseño de la hoja de evaluación en el software Excel permite efectuar los procesamientos necesarios para obtener los indicadores de evaluación más comunes.

Los datos que deben alimentarse son los siguientes:

- ✓ **Aforo de tránsito** clasificado en automóviles (A); autobuses, minibuses y autos de ruta fija (B) y camiones de carga (C). Los aforos se convierten usualmente a valores anualizados o Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA).



- ✓ **Tasa de crecimiento del tránsito** que usualmente se obtiene por datos existentes de estaciones maestras en las que el mismo punto ha sido medido en años anteriores. Cuando no es posible obtener este dato se hace uso de padrones vehiculares, estadísticas de venta de vehículos u otros datos indirectos. Con los datos anteriores se emplea una ecuación de regresión lineal o en su defecto se emplea la fórmula geométrica  $V_F = V_0(1+i)^N$ .
- ✓ **Ocupación vehicular** como se ha mencionado, proviene de la medición en campo de las frecuencias y ocupaciones visuales.
- ✓ **Rugosidad de superficies de rodamiento** Se introduce al modelo bajo la forma del IRI, por lo que las calificaciones estructurales de pavimentos deben traducirse a este indicador. En el caso de proyectos de pavimentación, el IRI debe reflejar la situación actual (IRI bajo) y la situación con proyecto (IRI alto). Cuando el proyecto no contempla acciones de pavimentación en el tramo evaluado, el IRI debe permanecer constante, asociado a los costos de operación.
- ✓ **Velocidad de operación** calculada a partir de los datos de tiempo de recorrido y demoras medidos en campo. Dicha velocidad debe obtenerse para la situación sin proyecto y con proyecto. Cuando se trata de un proyecto de pavimentación, la velocidad sin proyecto incluye específicamente las demoras causadas por la rugosidad del pavimento y el pronóstico una vez que la rugosidad se ha corregido.

Con estos datos se obtienen los indicadores siguientes:

- ✓ **Beneficio/Costo B/C** que se obtiene como cociente de los flujos de efectivo descontados a una tasa de actualización internacional del 12%. El criterio de selección según este indicador consiste en aceptar el proyecto cuando los beneficios son mayores que los costos  $B/C > 1$ , y rechazarlo en caso contrario.

- ✓ **Valor Presente Neto (VPN)** sobre los flujos de efectivo descontados a la tasa de actualización del 12% durante el período de evaluación. El criterio de selección para este indicador consiste en aceptar un proyecto en el que la suma total de los beneficios es superior a la suma total de los costos a lo largo del tiempo, es decir, que la suma debe ser positiva o de otro modo que se cumpla:

$$\sum_{j=1}^{j=15} (B_j - C_j)(1+i)^{-j} > 0$$

Donde B, C son los beneficios monetarizados y costos en el año j a una tasa de descuento i.

- ✓ **Tasa Interna de Retorno (TIR)** aplicada sobre el flujo de efectivo del proyecto y que se define como la tasa de actualización que iguala a cero al Valor Presente Neto. El criterio de selección para este indicador consiste en calcular la TIR y compararla con la tasa de rendimiento mínima atractiva (TREMA) del proyecto. Según el criterio del Banco Mundial la TREMA debe ser similar a la tasa de descuento, es decir, el 12%. Entonces la aceptación se da siempre que  $IRR > TREMA$  o de otra manera que:

$$\sum_{j=1}^{j=15} (B_j - C_j)(1+IRR)^{-j} \equiv 0 \Rightarrow IRR > i$$

- ✓ Otros indicadores complementarios que buscan la medición de efectos combinados de los indicadores anteriores son la **Tasa Interna de Retorno Modificada (TIRM)** y la **Tasa Interna al Primer Año ó Rentabilidad Inmediata (TRI)**. De manera similar a la Tasa Interna de Retorno TIR, el criterio de selección establece la aceptación cuando estos indicadores superan a la TREMA o para el caso, cuando superan a la tasa de descuento del 12%. Los algoritmos aplicables para cada caso, son los siguientes:

$$TIRM \equiv \frac{1+i}{\sqrt[B/C]} \quad \text{y} \quad TRI1 \equiv (B_1 / C_1) / (1+i)^1 / \sum_{j=1}^{15} \frac{C_j}{(1+i)^j}$$

## II.4 Análisis de sensibilidad

Con lo anterior, el modelo de la hoja de cálculo establece un flujo de efectivo de beneficios y costos durante un período de evaluación de 30 años y provee al evaluador de tres escenarios básicos en los que sensibiliza los beneficios y costos a valores distintos de los supuestos originales, con el fin de establecer los umbrales de riesgo del proyecto. El escenario a evaluar es:

- ✓ El que asume que los costos de inversión se elevarán hasta un 40% del costo original y que los beneficios serán menores en un 40% a los esperados.

Para el cual se obtienen los indicadores siguientes:

- ✓ Beneficio/Costo B/C.
- ✓ Valor Presente Neto (VPN)
- ✓ Tasa Interna de Retorno (TIR)

## **Capítulo III. Estimación de beneficios adicionales en proyectos de inversión pública considerando el índice de accidentes.**

### **III.1. Introducción.**

Tradicionalmente los estudios socio-económicos se han centrado en considerar como beneficios directos para el caso de la construcción y/o modernización de carreteras, a los ahorros obtenidos por concepto de tiempos de recorrido y costos de operación; no obstante, a la fecha no ha sido posible considerar el valor económico por la disminución del número de accidentes en la infraestructura carretera como consecuencia de su modernización.

Es por ello que se propone una metodología basada en la disponibilidad de información estadística oficial con que se cuenta en México. Dicha metodología considera como principal variable el índice de accidentes en carreteras del país, a fin de estar en posibilidades de determinar las proyecciones en el número de accidentes (que involucra costos por concepto de muertes, heridos y daños materiales).

### **III.2. Aspectos Generales.**

Se dice que un accidente es el resultado de la interacción de una serie de causas relacionadas con los usuarios del camino, los vehículos, la infraestructura, el tránsito vial y una serie de circunstancias externas (meteorología, visibilidad, etc.), por lo tanto no puede ser imputado a un solo valor. No obstante lo anterior, un elevado porcentaje de los accidentes tienen como factor predominante el error humano, sin embargo las condiciones de mejoramiento en la infraestructura y en las características de los vehículos puede contribuir a reducir las situaciones de conflicto, y en consecuencia disminuir la frecuencia y la severidad de los accidentes.

Al relacionar los saldos en accidentes, respecto al número de muertos, heridos y los daños materiales, se dispondrá de cifras o índices que permitan hacer comparaciones. Éstas darán la escala para juzgar la magnitud de los beneficios.

Las comparaciones pueden hacerse entre países, entidades, ciudades y tramos carreteros, a través del tiempo para evaluar si han tenido éxito las medidas de mitigación respecto al número de accidentes. A continuación se presenta el índice de accidentes con base en el kilometraje generado, ya que mediante este índice se podrá identificar la proyección de los mismos.

$$I_{A/K} = \frac{(\text{No. de accidentes en el año})(1 \times 10^6)}{\text{Vehículos-kilómetro}}$$

El número de accidentes equivalentes considera el impacto de la severidad de los accidentes, es decir, se toma en cuenta a las víctimas de un accidente. Para ello se utiliza el criterio que por cada muerto se consideran 6 accidentes y por cada herido 2 accidentes. Como lo muestra la siguiente expresión:

$$\text{NAE} = \text{No. Accidente} + (\text{No. de muertos} \times 6) + (\text{No. Heridos} \times 2)$$

### **III.3. Análisis para el cálculo de la tendencia del índice de accidentes.**

Un parámetro importante para la identificación fiable del índice de accidentes es la determinación del periodo de tiempo en el que se centrará el análisis. Para ello es conveniente tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ El periodo debe ser suficientemente largo para asegurar la fiabilidad de la muestra de accidentes. Sobre la base de numerosos estudios realizados se ha llegado a la conclusión de que un periodo de 3 a 5 años es suficiente en la mayor parte de los casos.

- ✓ Para los tramos carreteros en los que se han producido súbitos cambios de accidentabilidad, es conveniente analizar periodos cortos (2 años).
- ✓ Para evitar las distorsiones debidas a las variaciones estacionales, es conveniente utilizar periodos múltiplos del año.

#### **III.4. Valor económico de los accidentes presentados en una carretera.**

El análisis que deberá emplearse para definir el costo que representa para el país, la perdida de una vida humana, los lesionados y los daños materiales, corresponde para nuestro caso, al impacto socio-económico.

La expresión que se utiliza para estimar el costo económico del número de accidentes presentados en una carretera, es el siguiente:

$$CT = \beta (CPH) + \lambda (CPL) + CPM$$

En donde; CT es el costo total de los accidentes obtenidos en una carretera, CPH es el costo promedio de una vida humana, CPL es el costo promedio de un lesionado, CPM es el costo promedio de daños materiales,  $\beta$  es el número de personas fallecidas en accidentes en la carretera por año y  $\lambda$  es el número de personas lesionadas en accidentes en la carretera por año.

Es difícil cuantificar el valor de una persona, a pesar de que en varios países se han realizado estudios que permitan reflejar el comportamiento de la sociedad en la economía. Por lo que en nuestro estudio, cuantificaremos la vida humana de acuerdo a la fianza o recompensa que otorga una aseguradora al valor de una vida, de acuerdo al estatus económico del país, como lo expresa la siguiente función:

$$CPH = \text{Max}_{VH} + \alpha (\text{Min}_{VH} - \text{Max}_{VH})$$

Donde CPH es el costo promedio humano,  $Min_{VH}$  es el mínimo valor humano ofrecido por las aseguradoras o bancos,  $Max_{VH}$  es el máximo valor humano ofrecido por las aseguradoras o bancos y  $\alpha$  es el factor poblacional relacionado con el porcentaje de población de clase media baja en el país. De la misma forma se realiza un análisis similar en el caso de las personas lesionadas en un accidente:

$$CPL = Max_{VL} + \alpha (Min_{VL} - Max_{VL})$$

En donde CPL es el costo promedio de lesionados,  $Min_{VL}$  es el mínimo valor de lesiones ofrecido por las aseguradoras o bancos,  $Max_{VL}$  es el máximo valor de lesiones ofrecido por las aseguradoras o bancos y  $\alpha$  es el factor poblacional relacionado con el porcentaje de población de clase media baja en el país.

Los daños materiales tienen un comportamiento lineal y será fácil el cálculo, dado que se cuenta con estadísticas correspondientes a los costos ocasionados por el número de accidentes en las carreteras.

Para estimar el valor del coeficiente  $\alpha$  se utiliza el concepto básico de estadística descriptiva asociado al valor promedio de los eventos de la muestra estudiada.

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i f(x_i)$$

En donde, X es el valor promedio de nuestra muestra, n es el número de eventos y  $f(x)$  es la frecuencia o número de veces que se repite nuestro evento  $x_i$ .

Población ocupada	Población con ingreso (Expresado en salarios mínimos)							
	Hasta 0.5 SM	Entre 0.5 y 1.0 SM	1.0 SM	Entre 1.0 y 2.0 SM	Entre 2.0 y 3.0 SM	Entre 3.0 y 5.0 SM	Entre 5.0 y 10.0 SM	Más de 10.0 SM
543,088	177,000	104,199	10	136,712	55,441	40,615	18,974	10,137
935,002	205,506	215,557	16	253,447	108,971	89,662	41,569	20,274
1'301,753	166,590	301,475	24	382,071	155,298	186,884	82,356	27,055
2'002,924	121,070	303,909	63	584,148	305,955	403,059	222,254	62,466
5'705,708	140,592	484,961	262	1'700,823	1'182,931	1'085,664	781,826	328,649
8'488,930	160,096	737,716	528	3'444,749	1'979,329	1'282,652	612,326	271,534
3'540,976	68,708	280,078	172	1'349,565	741,129	550,925	333,860	216,539
2'214,742	42,708	180,817	102	821,303	463,575	352,696	211,037	142,504
3'376,723	75,129	272,782	146	1'192,982	736,522	592,730	320,389	186,043
28'109,846	1'157,399	2'881,494	1,323	9'865,800	5'729,151	4'584,887	2'624,591	1'265,201
	0.5	0.75	1.0	1.5	2.5	4.0	7.5	10.0
	Marca de clase del ingreso de la población							

Fuente: Nota Técnica No 273 del IMT (XII Censo General de Población y Vivienda 2000)

Para realizar el cálculo del factor poblacional relacionado con el porcentaje de población de clase media baja en el país, se considera población ocupada de clase media baja, aquella que percibe un sueldo inferior a tres salarios mínimos de acuerdo con el XII Censo General de Población y Vivienda 2000, por lo que el valor del factor será:

$$\alpha = [(1/28'109,846)][(1'157,399+2'881,494+1,323+9'865,800+5'729,151)]$$

$$\alpha = 0.7$$

Una vez conocido el costo total para el año inicial, tomando en cuenta las condiciones con y sin proyecto, se calcula la proyección de los costos en un periodo de tiempo de 30 años, basados en la tasa de crecimiento del respectivo índice de accidentes, para lo cual se utiliza una simple proyección lineal, dado que contamos con información estadística de más de cinco años.



## Capítulo IV. Estudio de caso (Carretera San Luis Río Colorado-Mexicali).

### IV.1. Descripción de los trabajos.

El tramo Mexicali- San Luis Río Colorado se ubica en el estado de Baja California y forma parte del ramal a Tijuana del Eje Troncal México-Nogales. Cruza por una importante zona agrícola y es la única vía de comunicación de Baja California con el resto del país.



Figura IV.1. Croquis de la carretera Mexicali-San Luis Río Colorado

El proyecto consiste en la modernización de la carretera existente de 56 Km de longitud, a cuatro carriles de circulación mediante la ampliación del cuerpo actual de 12 a 24 m de ancho de corona, incluyendo acotamientos de 2.5 metros y barrera central. La velocidad de proyecto es de 110 km/hr y la inversión se estima en 680 millones de pesos, e incluye el puente Río Colorado de 300 mts de longitud. Se cuenta con el proyecto ejecutivo, la liberación del derecho de vía y los permisos correspondientes.

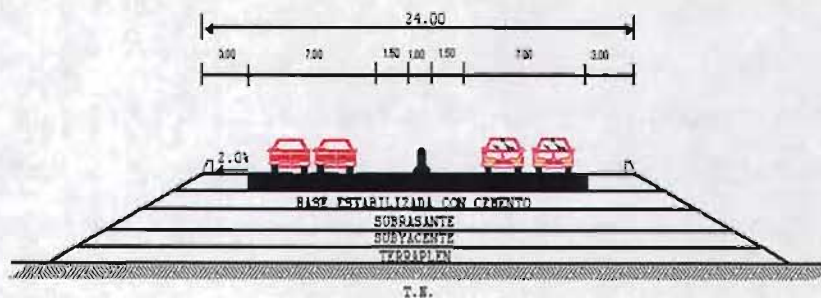


Figura IV.2. Sección tipo

En la actualidad, el tramo tiene cuatro carriles de circulación con una sección de 12 a 13 metros de ancho de corona, con raya central, sin acotamientos y sin un adecuado señalamiento horizontal y vertical. Por su ubicación a lo largo de la zona agrícola del norte de Baja California, existe un número importante de cruces de camiones y maquinaria agrícola, que hacen peligrosa la circulación y elevan los costos de operación y los tiempos de recorrido de los vehículos, por lo que la modernización del tramo tendrá como principales efectos, además del incremento en el nivel de servicio, la significativa mejoría de la seguridad para los usuarios.

## **IV.2. Análisis de factibilidad.**

### **IV.2.1. Factibilidad Técnica.**

La importancia de la región a la que comunica esta carretera se manifiesta en el hecho de ser una de las vías para el transporte de mercancías entre México y Estados Unidos, cuya importancia es mayor aún a partir del inicio de la vigencia del tratado de Libre Comercio de América del Norte.

La contribución regional del Eje Troncal México-Nogales es la de ser el distribuidor longitudinal de una red transversal de carreteras federales que conectan a varias ciudades de Baja California, de relevancia económica por su actividad industrial.

Dentro de la región de influencia del tramo se encuentran dos de los tres centros de atracción poblacional más importantes del estado de Baja California, considerados al mismo tiempo como polos de desarrollo económico: las ciudades de Mexicali y Tijuana. Estas mismas han influido en los requerimientos de más y mejores vías de comunicación en esta parte del estado, como respuesta al desarrollo de la agricultura, la ganadería y la multiplicación de la agroindustria derivada. En el mismo sentido, en los últimos años, la industria maquiladora ha tenido un notable crecimiento.

El auge de este sector industrial en la región es de gran importancia por su generación de empleos. Cabe indicar que del total de plantas maquiladoras existentes en el país, cerca del 40% se localizan en el estado de Baja California.

Así que el proyecto favorecerá la integración económica de la región noreste, que junto con el mar de Cortes serán los activos fundamentales del desarrollo regional.

#### **IV.2.1.1. Análisis de demanda del proyecto.**

El tipo de terreno en el que se desarrolla la carretera es plano. Con base en la información estadística de la Dirección General de Servicios Técnicos (SCT) en el año 2003, su flujo vehicular se estima en 13,474 vehículos por día, con una composición vehicular de 79% automóviles, 4% autobuses y 17% camiones. Los datos viales de años anteriores permiten estimar que la tasa anual de crecimiento del tramo sea del 3.5% que se considera que es más factible que se mantenga durante el horizonte del proyecto.

Tabla IV.1 Tránsito diario promedio anual (veh/día)

1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
9,965	10,575	10,601	10,787	10,954	11,078	12,436	12,652	13,474

El tramo en estudio se caracteriza por el predominio del tránsito local sobre el de largo itinerario; esta situación se explica porque la mayoría de los vehículos que transitan durante el año, son vehículos, tanto de procedencia nacional como estadounidense, que se desplazan constantemente entre las ciudades fronterizas de ambos países.

El tránsito de largo itinerario está constituido principalmente por vehículos de ciudadanos mexicanos radicados en los Estados Unidos, que se internan por temporada en territorio nacional para visitar a sus familiares. A este último tipo de tránsito lo complementa, en menor medida y en distintos periodos del año, el flujo de vehículos de ciudadanos americanos con interés recreativo, que en las últimas dos décadas se ha incrementado. Entre los principales destinos de esta práctica se encuentran los sitios costeros de los estados de Baja California, Baja California Sur y Sonora. El acceso a este último estado tiene como paso obligado el tramo en estudio.

Dentro de los productos de la región que emplean tecnología agrícola moderna y que se destinan mayoritariamente a la exportación, se encuentran el algodón, alfalfa, cebada, trigo y algunas especies de ganado. Además, Mexicali sobresale en la economía del estado y de la región por sus cultivos agrícolas de riego (vid, olivo y diversas variedades hortícolas) de alto valor comercial, que surten tanto al mercado nacional como al internacional.

El tramo también constituye un enlace para el intercambio comercial entre los estados de la región Noreste de México y el estado norteamericano de California; entre los cuales destaca el de Sinaloa con su producción agrícola.

#### **IV.2.2. Factibilidad Económica.**

La evaluación económica del proyecto de referencia se realiza bajo las siguientes premisas:

- ✓ En la situación sin proyecto se tomaron en cuenta las características físicas actuales de los tramos carreteros a los que éste pertenece (la geometría de la carretera, sus condiciones de operación y la evolución esperada del tránsito).
- ✓ En la situación con proyecto se consideraron las características geométricas indicadas en el proyecto ejecutivo

Las tablas siguientes resumen el valor de los parámetros básicos utilizados para llevar a cabo la evaluación económica del proyecto.

Tabla IV.2. Parámetros para la evaluación económica

Tramo	Longitud (Km)	TDPA 2003	Composición Vehicular			Inversión Mdp
			A%	B%	C%	
Mexicali-San Luis Río Colorado	56	13,474	79	4	17	840

Tabla IV.3. Valor del tiempo<sup>1</sup>

Conductor auto	15.0 \$/hr
Pasajero auto	10.0 \$/hr
Pasajero autobús	10.0 \$/hr
Número pasajeros auto	2.5 pas/veh
Número pasajeros autobús	27.0 pas/veh
% viajes de negocios	0.35
Carga	15.0 \$/hr/ton
Toneladas promedio	6.0 ton/veh

Tabla IV.4. Costo de conservación<sup>2</sup>

Conservación normal	30,000 \$/km/carr
Riego de sello	50,000 \$/km/carr
Sobrecarpeta	280,000 \$/km/carr
Reconstrucción	710,000 \$/km/carr
No. Carriles s/proyecto	4 carriles (12 m)
No. Carriles c/proyecto	4 carriles (24 m)

Para realizar el cálculo de la velocidad aproximada de operación vehicular, se utilizan las graficas elaboradas por el Instituto Mexicano del Transporte<sup>3</sup> para determinar los factores del costo de operación base y la velocidad de operación de los siete tipos de vehículos, una vez conocido el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) medido en m/km y el tipo de terreno. En la siguiente tabla se muestran los valores del Índice de Servicio (IS) y del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) con base al estado superficial de la carretera.

Tabla IV.5 Índice internacional de rugosidad (IRI) m/km

Estado superficial	IS	IRI
Muy bueno	4.30	2.0
Regular	3.44	4.0
Malo	2.58	6.0

<sup>1</sup> Nota técnica No. 274, Instituto Mexicano del Transporte

<sup>2</sup> Dirección General de Conservación de Carreteras, Secretaría de Comunicaciones y Transportes

<sup>3</sup> Nota técnica No. 202, Instituto Mexicano del Transporte

Tomando en cuenta que la carretera en análisis está ubicada en un terreno plano y que el estado actual de la carpeta es regular, se extrae de la tabla el valor correspondiente al IRI que es de 4.0 m/km, con estos datos ingresamos a las gráficas correspondientes a los vehículos que conforman la composición vehicular de nuestro estudio, como se detalla a continuación:

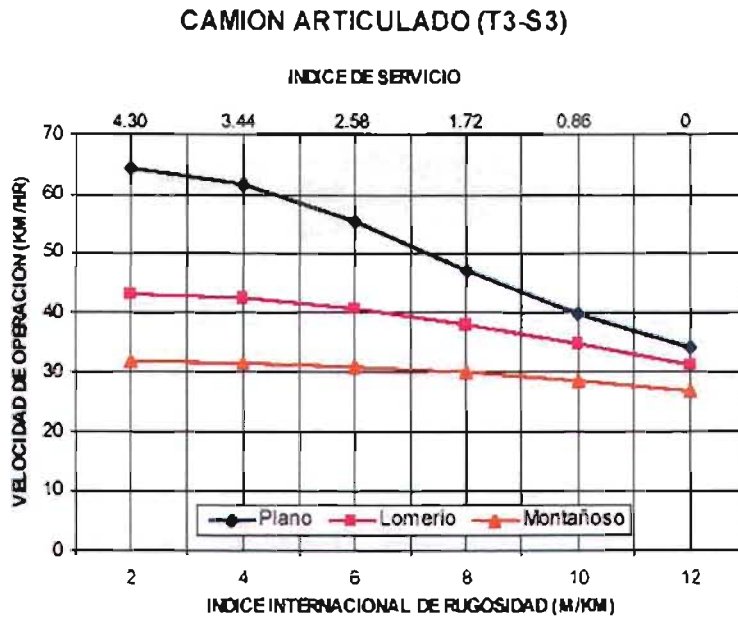


Figura IV.3. Gráfica IRI vs Velocidad de operación (camión de carga)

Ingresamos a la grafica con el valor del IRI=4 en el eje horizontal, hasta chocar en la parte vertical con la línea correspondiente al tipo de terreno plano, dando un valor de 62.0 km/hr para el caso de un camión de carga (tipo C); de la misma forma se obtienen los valores para un autobús (tipo B) y un auto ligero (tipo A), que son 78.0 km/hr y 79.0 km/hr, respectivamente (anexo 1).

Cabe mencionar que los valores obtenidos se refieren al año 2003, es decir, a una consideración sin proyecto. Por lo que el cálculo respectivo en el periodo de 30 años deberá considerar que el estado superficial pasará de regular a malo en las condiciones sin proyecto, siendo para el caso con proyecto el primer año es estado muy bueno y al final del periodo en el estado regular. Las variaciones corresponderán al programa de conservación de carreteras.

De la misma forma que la consideración sin proyecto, para el año 1 (2004), es decir la consideración con proyecto se calculan los mismos valores, que se obtienen de ingresar en la gráfica antes mencionada el valor del IRI=2 en el eje horizontal (tipo de superficie muy buena), hasta chocar en la parte vertical con la línea correspondiente al tipo de terreno plano, dando un valor de 65.0 km/hr para el caso de un camión de carga (tipo C); 81.0 km/hr para un autobús (tipo B) y 80 km/hr para un auto ligero (tipo A), con lo que se obtiene la siguiente tabla de resultados en el periodo previamente definido de 30 años.

Tabla IV.6. Velocidades (km/hr)

AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	A	B	C	A	B	C
0	79	78	62	0	0	0
1	79	78	62	80	81	65
2	79	78	62	80	81	65
3	79	78	62	80	81	65
4	78	77	61	80	81	65
5	78	77	61	80	81	65
6	78	77	61	80	81	65
7	78	77	61	80	81	65
8	77	76	59	80	80	64
9	77	76	59	80	80	64
10	77	76	59	80	80	64
11	77	76	59	80	80	64
12	77	76	59	80	80	64
13	77	76	59	80	80	64
14	77	76	59	80	80	64
15	77	76	59	80	80	64
16	76	75	57	79	79	63
17	76	75	57	79	79	63
18	76	75	57	79	79	63
19	76	75	57	79	79	63
20	76	75	57	79	79	63
21	76	75	57	79	79	63
22	76	75	57	79	79	63
23	76	75	57	79	79	63
24	75	74	56	79	78	62
25	75	74	56	79	78	62
26	75	74	56	79	78	62
27	75	74	56	79	78	62
28	75	74	56	79	78	62
29	75	74	56	79	78	62
30	75	74	56	79	78	62

Para realizar el cálculo del tránsito diario promedio anual, se emplea el valor conocido para el año inicial (2003) que es de 13,474, mismo que se afecta los porcentajes de composición vehicular conocidos de 79%, 4% y 17% para vehículos tipo A, B y C, respectivamente. Por lo que en el primer año 10,644 vehículos corresponden a autos, 539 a autobuses y 2,291 a camiones de carga.

Con la información anterior y la tasa de crecimiento obtenida de los datos estadísticos (3.5%), se conocen los tránsitos diarios promedios anuales en el periodo de 30 años, que es el siguiente:

Tabla IV.7. Tránsito (veh/día)

AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	A	B	C	A	B	C
0	10,644	539	2,291	10,644	539	2,291
1	11,017	558	2,371	11,017	558	2,371
2	11,403	577	2,454	11,403	577	2,454
3	11,802	598	2,540	11,802	598	2,540
4	12,215	618	2,628	12,215	618	2,628
5	12,642	640	2,720	12,642	640	2,720
6	13,085	663	2,816	13,085	663	2,816
7	13,543	686	2,914	13,543	686	2,914
8	14,017	710	3,016	14,017	710	3,016
9	14,507	735	3,122	14,507	735	3,122
10	15,015	760	3,231	15,015	760	3,231
11	15,541	787	3,344	15,541	787	3,344
12	16,085	814	3,461	16,085	814	3,461
13	16,647	843	3,582	16,647	843	3,582
14	17,230	872	3,708	17,230	872	3,708
15	17,833	903	3,838	17,833	903	3,838
16	18,457	935	3,972	18,457	935	3,972
17	19,103	967	4,111	19,103	967	4,111
18	19,772	1,001	4,255	19,772	1,001	4,255
19	20,464	1,036	4,404	20,464	1,036	4,404
20	21,180	1,072	4,558	21,180	1,072	4,558
21	21,922	1,110	4,717	21,922	1,110	4,717
22	22,689	1,149	4,882	22,689	1,149	4,882
23	23,483	1,189	5,053	23,483	1,189	5,053
24	24,305	1,231	5,230	24,305	1,231	5,230
25	25,155	1,274	5,413	25,155	1,274	5,413
26	26,036	1,318	5,603	26,036	1,318	5,603
27	26,947	1,364	5,799	26,947	1,364	5,799
28	27,890	1,412	6,002	27,890	1,412	6,002
29	28,866	1,462	6,212	28,866	1,462	6,212
30	29,877	1,513	6,429	29,877	1,513	6,429



El cálculo de los costos de operación vehicular en términos de \$/km/veh, en el año inicial sin proyecto, se obtienen de la siguiente tabla:

Tabla IV.8. Costo de operación base (\$/km/veh)  
(Terreno sensiblemente plano)

Tipo de vehículo	Estado superficial		
	Muy bueno	Regular	Malo
Auto	2.29	2.42	2.60
Autobús	7.26	7.64	8.07
Camión de carga	7.90	8.70	9.70

De esta tabla se deduce que para la condición sin proyecto los valores asociados al costo de operación para vehículos ligeros, autobús y camiones de carga, son 2.42, 7.64 y 8.70, respectivamente. Así mismo, para la condición con proyecto los valores respectivos corresponden a 2.29, 7.26 y 7.90. Mismos que se presentan en la tabla siguiente para el periodo de 30 años.

Tabla IV.8. Costo de operación vehicular (\$/km/veh)

AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	A	B	C	A	B	C
0	2.42	7.64	8.70	-	-	-
1	2.42	7.64	8.70	2.29	7.26	7.90
2	2.42	7.64	8.70	2.29	7.26	7.90
3	2.42	7.64	8.70	2.29	7.26	7.90
4	2.48	7.72	9.02	2.29	7.26	7.90
5	2.48	7.72	9.02	2.29	7.26	7.90
6	2.48	7.72	9.02	2.29	7.26	7.90
7	2.48	7.72	9.02	2.29	7.26	7.90
8	2.52	7.93	9.16	2.29	7.26	8.12
9	2.52	7.93	9.16	2.29	7.26	8.12
10	2.52	7.93	9.16	2.29	7.26	8.12
11	2.52	7.93	9.16	2.29	7.26	8.12
12	2.52	7.93	9.16	2.29	7.26	8.12
13	2.52	7.93	9.16	2.29	7.26	8.12
14	2.52	7.93	9.16	2.29	7.26	8.12
15	2.52	7.93	9.16	2.29	7.39	8.12

AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	A	B	C	A	B	C
16	2.56	8.07	9.44	2.34	7.39	8.45
17	2.56	8.07	9.44	2.34	7.39	8.45
18	2.56	8.07	9.44	2.34	7.39	8.45
19	2.56	8.07	9.44	2.34	7.39	8.45
20	2.56	8.07	9.44	2.34	7.39	8.45
21	2.56	8.07	9.44	2.34	7.39	8.45
22	2.56	8.07	9.44	2.34	7.39	8.45
23	2.56	8.07	9.44	2.34	7.39	8.45
24	2.60	8.09	9.70	2.34	7.64	8.70
25	2.60	8.09	9.70	2.34	7.64	8.70
26	2.60	8.09	9.70	2.34	7.64	8.70
27	2.60	8.09	9.70	2.34	7.64	8.70
28	2.60	8.09	9.70	2.34	7.64	8.70
29	2.60	8.09	9.70	2.42	7.64	8.70
30	2.60	8.09	9.70	2.42	7.64	8.70

Para mejor manejo de la información expresaremos los costos de operación vehicular en términos de \$/día, multiplicando los valores obtenidos en la última tabla con los correspondientes al tránsito diario promedio anual, dando los siguientes resultados.

Tabla IV.9. Costo de operación vehicular (\$/día)

AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	A	B	C	A	B	C
0	1,442,537	230,589	1,115,971	-	-	-
1	1,493,026	238,659	1,155,030	1,412,822	226,789	1,048,820
2	1,545,282	247,012	1,195,456	1,462,271	234,726	1,085,529
3	1,599,367	255,658	1,237,297	1,513,450	242,942	1,123,522
4	1,696,386	267,377	1,327,705	1,566,421	251,445	1,162,845
5	1,755,760	276,735	1,374,174	1,621,248	260,245	1,203,545
6	1,817,211	286,420	1,422,270	1,677,990	269,354	1,245,669
7	1,880,814	296,445	1,472,050	1,736,719	278,781	1,289,267
8	1,978,040	315,167	1,547,219	1,797,504	288,539	1,371,552
9	2,047,271	326,198	1,601,372	1,860,417	298,637	1,419,556
10	2,118,926	337,615	1,657,420	1,925,532	309,090	1,469,241
11	2,193,088	349,431	1,715,429	1,992,925	319,908	1,520,664
12	2,269,846	361,661	1,775,469	2,062,678	331,105	1,573,888
13	2,349,291	374,319	1,837,611	2,134,871	342,693	1,628,974
14	2,431,516	387,421	1,901,927	2,209,592	354,688	1,685,988
15	2,516,619	400,980	1,968,495	2,286,927	373,675	1,744,997
16	2,646,045	422,341	2,099,670	2,418,650	386,754	1,879,472
17	2,738,657	437,123	2,173,159	2,503,303	400,290	1,945,253
18	2,834,510	452,423	2,249,219	2,590,919	414,300	2,013,337
19	2,933,717	468,258	2,327,942	2,681,601	428,801	2,083,804
20	3,036,397	484,647	2,409,420	2,775,457	443,809	2,156,737

AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	A	B	C	A	B	C
21	3,142,671	501,609	2,493,750	2,872,598	459,342	2,232,223
22	3,252,665	519,165	2,581,031	2,973,139	475,419	2,310,351
23	3,366,508	537,336	2,671,367	3,077,199	492,059	2,391,213
24	3,538,779	557,521	2,841,016	3,184,901	526,510	2,548,127
25	3,662,636	577,035	2,940,451	3,296,372	544,937	2,637,312
26	3,790,828	597,231	3,043,367	3,411,745	564,010	2,729,618
27	3,923,507	618,134	3,149,885	3,531,156	583,751	2,825,154
28	4,060,830	639,769	3,260,131	3,654,747	604,182	2,924,035
29	4,202,959	662,160	3,374,235	3,911,985	625,328	3,026,376
30	4,350,063	685,336	3,492,334	4,048,904	647,215	3,132,299

Otra variable implícita en la evaluación de proyectos carreteros, es la que se refiere al valor del tiempo de recorrido, para ello con base en las velocidades de operación calculadas anteriormente y en la longitud total de la carretera en análisis (56.0 km), obtendremos los tiempos de recorrido, como se detallan a continuación:

Tabla IV.10. Tiempos de recorrido (Hr)

AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	A	B	C	A	B	C
0	0.71	0.72	0.90	0.00	0.00	0.00
1	0.71	0.72	0.90	0.70	0.69	0.86
2	0.71	0.72	0.90	0.70	0.69	0.86
3	0.71	0.72	0.90	0.70	0.69	0.86
4	0.72	0.73	0.92	0.70	0.69	0.86
5	0.72	0.73	0.92	0.70	0.69	0.86
6	0.72	0.73	0.92	0.70	0.69	0.86
7	0.72	0.73	0.92	0.70	0.69	0.86
8	0.73	0.74	0.95	0.70	0.70	0.88
9	0.73	0.74	0.95	0.70	0.70	0.88
10	0.73	0.74	0.95	0.70	0.70	0.88
11	0.73	0.74	0.95	0.70	0.70	0.88
12	0.73	0.74	0.95	0.70	0.70	0.88
13	0.73	0.74	0.95	0.70	0.70	0.88
14	0.73	0.74	0.95	0.70	0.70	0.88
15	0.73	0.74	0.95	0.70	0.70	0.88
16	0.74	0.75	0.98	0.71	0.71	0.89
17	0.74	0.75	0.98	0.71	0.71	0.89
18	0.74	0.75	0.98	0.71	0.71	0.89
19	0.74	0.75	0.98	0.71	0.71	0.89
20	0.74	0.75	0.98	0.71	0.71	0.89

AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	A	B	C	A	B	C
21	0.74	0.75	0.98	0.71	0.71	0.89
22	0.74	0.75	0.98	0.71	0.71	0.89
23	0.74	0.75	0.98	0.71	0.71	0.89
24	0.75	0.76	1.00	0.71	0.72	0.90
25	0.75	0.76	1.00	0.71	0.72	0.90
26	0.75	0.76	1.00	0.71	0.72	0.90
27	0.75	0.76	1.00	0.71	0.72	0.90
28	0.75	0.76	1.00	0.71	0.72	0.90
29	0.75	0.76	1.00	0.71	0.72	0.90
30	0.75	0.76	1.00	0.71	0.72	0.90

En este momento estamos en posibilidades de determinar el valor del tiempo de los pasajeros y cargas que circulan por esta vía, de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- a) El costo por concepto de transporte de los autos se calcula con base a los parámetros básicos utilizados que son: En un auto circulan 2.5 pasajeros en promedio acompañantes del conductor con un costo por hora de \$10 por persona y \$15 del conductor, es decir \$40 por vehículo.
- b) De la misma forma que con un auto, el costo por concepto de transporte del autobús se obtiene tomando en cuenta que en un autobús circulan 27 pasajeros en promedio acompañantes del conductor con un costo por hora de \$10 por persona y \$15 del conductor, es decir \$285 por autobús.
- c) Para el caso de un camión de carga el costo por hora de la carga es de \$15 por tonelada, siendo 6.0 toneladas en promedio por camión, es decir \$105.0 por camión.

Con esta información, el tiempo de recorrido y el tránsito diario promedio anual se calculan los costos diarios por concepto de tiempo de recorrido, obteniéndose la siguiente información:

Tabla IV.11. Valor del tiempo de recorrido (\$/día)

AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	A	B	C	A	B	C
0	301,818	110,280	217,236	-	-	-
1	312,381	114,139	224,839	308,476	109,912	214,462
2	323,315	118,134	232,708	319,273	113,759	221,968
3	334,631	122,269	240,853	330,448	117,740	229,737
4	350,783	128,192	253,370	342,013	121,861	237,778
5	363,060	132,678	262,237	353,984	126,126	246,100
6	375,767	137,322	271,416	366,373	130,541	254,713
7	388,919	142,128	280,915	379,196	135,110	263,628
8	407,759	149,039	300,603	392,468	141,587	277,119
9	422,031	154,255	311,124	406,205	146,542	286,818
10	436,802	159,654	322,014	420,422	151,671	296,856
11	452,090	165,242	333,284	435,136	156,980	307,246
12	467,913	171,025	344,949	450,366	162,474	318,000
13	484,290	177,011	357,022	466,129	168,160	329,130
14	501,240	183,206	369,518	482,444	174,046	340,649
15	518,784	189,619	382,451	499,329	180,138	352,572
16	544,006	198,872	409,726	523,348	188,803	370,704
17	563,046	205,833	424,066	541,665	195,411	383,679
18	582,753	213,037	438,909	560,623	202,250	397,108
19	603,149	220,493	454,271	580,245	209,329	411,007
20	624,259	228,210	470,170	600,553	216,655	425,392
21	646,108	236,198	486,626	621,573	224,238	440,281
22	668,722	244,465	503,658	643,328	232,087	455,690
23	692,128	253,021	521,286	665,844	240,210	471,640
24	725,903	265,415	549,165	689,149	251,804	496,020
25	751,310	274,705	568,386	713,269	260,617	513,381
26	777,606	284,320	588,280	738,233	269,739	531,349
27	804,822	294,271	608,869	764,072	279,180	549,947
28	832,991	304,570	630,180	790,814	288,951	569,195
29	862,145	315,230	652,236	818,493	299,065	589,117
30	892,321	326,263	675,064	847,140	309,532	609,736

Aunque no cuentan como beneficios los trabajos correspondientes a la conservación de las carreteras, es una inversión que debe ser tomada en cuenta, dado que estamos involucrando los costos y beneficios obtenidos en nuestra evaluación, por lo que en la siguiente tabla se resumen las inversiones correspondientes al mantenimiento de la infraestructura carretera.

Tabla IV.12. Conservación (\$/año)

AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	NORMAL	RUTINARIA	RECONSTRUCCION	NORMAL	RUTINARIA	RECONSTRUCCION
0	6,720,000	-	-	-	-	-
1	6,720,000			11,520,000		
2	6,720,000			11,520,000		
3	6,720,000			11,520,000		
4	6,720,000	11,200,000		11,520,000		
5	6,720,000			11,520,000		
6	6,720,000			11,520,000		
7	6,720,000			11,520,000	19,200,000	
8	6,720,000		159,040,000	11,520,000		
9	6,720,000			11,520,000		
10	6,720,000			11,520,000		
11	6,720,000			11,520,000	107,520,000	
12	6,720,000	11,200,000		11,520,000		
13	6,720,000			11,520,000		
14	6,720,000			11,520,000		
15	6,720,000			11,520,000	19,200,000	
16	6,720,000	62,720,000		11,520,000		
17	6,720,000			11,520,000		
18	6,720,000			11,520,000		
19	6,720,000			11,520,000		272,640,000
20	6,720,000	11,200,000		11,520,000		
21	6,720,000			11,520,000		
22	6,720,000			11,520,000		
23	6,720,000			11,520,000		
24	6,720,000		159,040,000	11,520,000		
25	6,720,000			11,520,000	19,200,000	
26	6,720,000			11,520,000		
27	6,720,000			11,520,000		
28	6,720,000	11,200,000		11,520,000		
29	6,720,000			11,520,000		
30	6,720,000			11,520,000	107,520,000	

Hasta ahora sólo hemos considerado para nuestro análisis los parámetros utilizados convencionalmente para determinar la factibilidad de los proyectos carreteros.

El cálculo de los costos por accidentes se realiza conforme a lo establecido en el capítulo III de este trabajo, por lo que el respectivo análisis implicará los costos asociados a los decesos humanos, lesiones y daños materiales de los accidentes presentados en esta carretera.

Para calcular el valor humano promedio de una persona, retomaremos las expresiones correspondientes al costo promedio humano, de lesionados y daños materiales que se muestran a continuación:

$$CT = \beta (CPH) + \lambda (CPL) + CPM$$

Los valores correspondientes al valor máximo y mínimo de una vida humana, se obtienen de la mayor y menor oferta fijada por las aseguradoras e instituciones bancarias, para el pago de la fianza de una vida. Obteniéndose como valor mínimo el de \$100,000<sup>1</sup> y máximo el de \$1'500,000<sup>2</sup>. El valor del coeficiente  $\alpha = 0.7$ , por lo que el costo promedio será:

$$CPH = \text{Max}_{VH} + \alpha (\text{Min}_{VH} - \text{Max}_{VH})$$

$$CPH = (1'500,000) + 0.7 (100,000 - 1'500,000)$$

$$CPH = \$ 520,000$$

De la misma manera, se calcula el valor promedio de lesionados, es decir;

$$CPL = \text{Max}_{VL} + \alpha (\text{Min}_{VL} - \text{Max}_{VL})$$

$$CPL = (250,000) + 0.7 (50,000 - 250,000)$$

$$CPL = \$ 110,000$$

El valor de los daños materiales promedio se obtiene de las estadísticas oficiales con que cuenta México<sup>3</sup>.

Con los valores obtenidos y con la información estadística de accidentes registrados en la carretera (457 accidentes, 107 heridos y 65 muertes), es posible efectuar una aproximación en relación al costo total para el año inicial.

$$CT = \beta (CPH) + \lambda (CPL) + CPM$$

$$CT = 65 (520) + 110 (107) + 2'724,000$$

$$CT = \$ 48'294,000$$

<sup>1</sup> Banco Nacional de México (BANAMEX), primer semestre 2004

<sup>2</sup> Metlife México, Seguro de Gastos Médicos Mayores, 2004

<sup>3</sup> Anuario Estadístico 2003, Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Para estar en posibilidades de conocer los costos totales asociados a la condición sin proyecto en el periodo de análisis (30 años), se realiza una proyección lineal del índice de accidentes registrados en esta carretera, para ello con los valores de los últimos años se obtendrá la tasa de crecimiento del índice en mención.

Tabla IV.13. Índice de accidentes de la carretera Mexicali-SLRC (sin proyecto)

Año	1999	2000	2001	2002	2003
<b>Índice de accidentes</b>	0.205	0.203	0.216	0.220	0.252

Con los datos de la tabla se obtiene que la tasa de crecimiento de dicho índice es del 4.4% para la condición sin proyecto; en el caso de la condición con proyecto se deberá tomar como tasa de crecimiento la de una obra con las mismas características físicas y de longitud, es decir de una carretera de cuatro carriles de circulación, en terreno plano y con longitud de aproximadamente 56.0 km, para ello se localizó una obra con variables similares y se obtuvieron los respectivos índices de accidentes:

Tabla IV.14. Índice de accidentes de otra carretera similar (con proyecto)

Año	1999	2000	2001	2002	2003
<b>Índice de accidentes</b>	0.189	0.199	0.206	0.207	0.215

Para esta condición con proyecto la tasa de crecimiento fue de 2.7%, misma que se utilizará para efectos de conocer las tendencias en los costos asociados a accidentes, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla IV.15. Índice de accidentes

AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	ACCIDENTES	HERIDOS	MUERTES	ACCIDENTES	HERIDOS	MUERTES
0	331	107	65	-	-	-
1	346	112	68	318	93	49
2	359	116	71	327	96	50
3	374	121	73	335	98	52
4	389	126	76	344	101	53
5	404	131	79	354	103	55
6	420	136	83	363	106	56
7	437	141	86	373	109	57
8	455	147	89	383	112	59
9	473	153	93	394	115	61
10	492	159	97	404	118	62



AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	ACCIDENTES	HERIDOS	MUERTES	ACCIDENTES	HERIDOS	MUERTES
11	512	165	100	415	121	64
12	532	172	104	426	125	66
13	553	179	109	438	128	67
14	575	186	113	450	131	69
15	598	193	118	462	135	71
16	622	201	122	474	139	73
17	647	209	127	487	142	75
18	673	218	132	500	146	77
19	700	226	137	514	150	79
20	728	235	143	528	154	81
21	757	245	149	542	158	83
22	787	255	155	556	163	86
23	819	265	161	571	167	88
24	852	275	167	587	172	90
25	886	286	174	603	176	93
26	921	298	181	619	181	95
27	958	310	188	636	186	98
28	996	322	196	653	191	101
29	1,036	335	203	671	196	103
30	1,078	348	212	689	201	106

Aplicando los valores asociados a los accidentes, los heridos y las muertes, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla IV.16. Costo por el número de accidentes (\$)

AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	ACCIDENTES	HERIDOS	MUERTES	ACCIDENTES	HERIDOS	MUERTES
0	2,724,000	11,770,000	33,800,000	-	-	-
1	2,843,856	12,287,880	35,287,200	261,170	10,230,000	25,480,000
2	2,957,610	12,779,395	36,698,688	268,222	10,506,210	26,167,960
3	3,075,915	13,290,571	38,166,636	275,464	10,789,878	26,874,495
4	3,198,951	13,822,194	39,693,301	282,901	11,081,204	27,600,106
5	3,326,909	14,375,082	41,281,033	290,540	11,380,397	28,345,309
6	3,459,986	14,950,085	42,932,274	298,384	11,687,668	29,110,632
7	3,598,385	15,548,088	44,649,565	306,441	12,003,235	29,896,620
8	3,742,320	16,170,012	46,435,548	314,714	12,327,322	30,703,828
9	3,892,013	16,816,812	48,292,970	323,212	12,660,160	31,532,832
10	4,047,694	17,489,485	50,224,689	331,938	13,001,984	32,384,218
11	4,209,602	18,189,064	52,233,676	340,901	13,353,038	33,258,592
12	4,377,986	18,916,627	54,323,023	350,105	13,713,570	34,156,574
13	4,553,105	19,673,292	56,495,944	359,558	14,083,836	35,078,801
14	4,735,229	20,460,223	58,755,782	369,266	14,464,099	36,025,929
15	4,924,638	21,278,632	61,106,013	379,236	14,854,630	36,998,629

AÑO	SIN PROYECTO			CON PROYECTO		
	ACCIDENTES	HERIDOS	MUERTES	ACCIDENTES	HERIDOS	MUERTES
16	5,121,624	22,129,778	63,550,254	389,476	15,255,705	37,997,592
17	5,326,489	23,014,969	66,092,264	399,991	15,667,609	39,023,527
18	5,539,549	23,935,568	68,735,954	410,791	16,090,635	40,077,162
19	5,761,130	24,892,990	71,485,393	421,883	16,525,082	41,159,246
20	5,991,576	25,888,710	74,344,808	433,273	16,971,259	42,270,545
21	6,231,239	26,924,258	77,318,601	444,972	17,429,483	43,411,850
22	6,480,488	28,001,229	80,411,345	456,986	17,900,079	44,583,970
23	6,739,708	29,121,278	83,627,798	469,325	18,383,381	45,787,737
24	7,009,296	30,286,129	86,972,910	481,996	18,879,732	47,024,006
25	7,289,688	31,497,574	90,451,827	495,010	19,389,485	48,293,654
26	7,581,255	32,757,477	94,069,900	508,376	19,913,001	49,597,583
27	7,884,505	34,067,776	97,832,696	522,102	20,450,652	50,936,718
28	8,199,885	35,430,487	101,746,004	536,199	21,002,820	52,312,009
29	8,527,880	36,847,707	105,815,844	550,676	21,569,896	53,724,433
30	8,868,996	38,321,615	110,048,478	565,544	22,152,283	55,174,993

Una vez que conocemos el valor de todas las variables que intervienen en nuestro análisis, se ponderan los ahorros obtenidos por la implementación del proyecto, es decir se comparan las condiciones con y sin proyecto, a fin de determinar los beneficios, como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla IV.17. Costos totales (MDP)

AÑO	SIN PROYECTO					CON PROYECTO				
	COSTOS DE OPERACIÓN	TIEMPOS DE RECORRIDO	CONSERVACIÓN	ACCIDENTES	TOTAL	COSTOS DE OPERACIÓN	TIEMPOS DE RECORRIDO	CONSERVACIÓN	ACCIDENTES	TOTAL
0	1,018.02	229.71	6.72	48.29	1,302.74	-	-	-	-	-
1	1,053.65	237.75	6.72	50.42	1,348.54	981.28	230.99	11.52	35.97	1,259.76
2	1,090.53	246.07	6.72	52.44	1,395.75	1,015.62	239.07	11.52	36.94	1,303.16
3	1,128.70	254.68	6.72	54.53	1,444.63	1,051.17	247.44	11.52	37.94	1,348.07
4	1,201.39	267.31	17.62	56.71	1,543.33	1,087.96	256.10	11.52	38.96	1,394.55
5	1,243.43	276.66	6.72	58.98	1,585.80	1,126.04	265.07	11.52	40.02	1,442.64
6	1,286.95	286.34	6.72	61.34	1,641.36	1,165.45	274.34	11.52	41.10	1,492.41
7	1,332.00	296.37	6.72	63.80	1,698.88	1,206.24	283.95	30.72	42.21	1,563.11
8	1,401.76	312.95	165.76	66.35	1,646.81	1,262.02	296.08	11.52	43.35	1,612.97
9	1,450.82	323.90	6.72	69.00	1,850.44	1,308.19	306.44	11.52	44.52	1,668.67
10	1,501.60	335.24	6.72	71.76	1,915.32	1,351.91	317.17	11.52	45.72	1,726.31
11	1,554.15	346.97	6.72	74.63	1,982.48	1,399.23	328.27	119.04	46.95	1,893.49
12	1,608.55	359.12	17.92	77.62	2,063.20	1,448.20	339.78	11.52	48.22	1,847.70
13	1,664.85	371.69	6.72	80.72	2,123.98	1,498.89	351.65	11.52	49.52	1,911.58
14	1,723.12	384.70	6.72	83.95	2,198.48	1,551.35	363.96	11.52	50.86	1,977.68
15	1,783.42	398.15	6.72	87.31	2,275.81	1,608.04	376.69	30.72	52.23	2,067.69
16	1,886.34	420.70	89.44	90.80	2,467.28	1,709.98	395.24	11.52	53.64	2,170.38
17	1,952.36	435.42	6.72	94.43	2,488.94	1,769.83	409.08	11.52	55.09	2,245.52
18	2,020.70	450.66	6.72	98.21	2,576.29	1,831.77	423.39	11.52	56.58	2,323.26
19	2,091.42	466.44	6.72	102.14	2,666.72	1,895.89	438.21	284.16	58.11	2,676.36
20	2,164.62	482.76	17.92	106.23	2,771.53	1,962.24	453.55	11.52	59.68	2,488.99
21	2,240.38	499.68	6.72	110.47	2,857.24	2,030.92	469.42	11.52	61.29	2,573.15
22	2,318.79	517.15	6.72	114.89	2,957.56	2,102.00	485.85	11.52	62.94	2,662.32
23	2,399.95	535.25	6.72	119.49	3,061.41	2,175.57	502.86	11.52	64.64	2,754.59
24	2,532.12	562.28	165.76	124.27	3,384.43	2,284.73	524.50	11.52	66.39	2,887.13
25	2,620.74	581.96	6.72	129.24	3,338.66	2,364.70	542.85	30.72	68.18	3,006.45
26	2,712.47	602.32	6.72	134.41	3,455.62	2,447.46	561.85	11.52	70.02	3,090.85
27	2,807.41	623.41	6.72	139.78	3,577.32	2,533.12	581.52	11.52	71.91	3,198.07
28	2,905.67	645.23	17.92	145.38	3,714.19	2,621.78	601.87	11.52	73.85	3,309.02
29	3,007.36	667.81	6.72	151.19	3,833.08	2,760.75	622.94	11.52	75.85	3,471.05
30	3,112.62	691.18	6.72	157.24	3,967.76	2,857.37	644.74	119.04	77.89	3,690.04

Tabla IV.18. Ahorros (MDP)

AÑO	COSTOS DE OPERACIÓN	TIEMPOS DE RECORRIDO	CONSERVACIÓN	ACCIDENTES	TOTAL
0	(1,018.02)	(229.71)	(6.72)	(48.29)	(1,302.74)
1	72.37	6.76	(4.80)	14.45	88.78
2	74.91	6.99	(4.80)	15.49	92.59
3	77.53	7.24	(4.80)	16.59	96.56
4	113.43	11.20	6.40	17.75	148.78
5	117.40	11.59	(4.80)	18.97	143.16
6	121.50	12.00	(4.80)	20.25	148.95
7	125.76	12.42	(24.00)	21.59	135.77
8	139.73	16.87	154.24	23.00	333.85
9	144.62	17.46	(4.80)	24.49	181.77
10	149.89	18.07	(4.80)	26.04	189.00
11	154.92	18.71	(112.32)	27.68	88.99
12	160.35	19.36	6.40	29.40	215.51
13	165.96	20.04	(4.80)	31.20	212.40
14	171.77	20.74	(4.80)	33.09	220.80
15	175.38	21.47	(24.00)	35.08	207.92
16	176.36	25.46	57.92	37.16	296.90
17	182.53	26.35	(4.80)	39.34	243.43
18	188.92	27.27	(4.80)	41.63	253.03
19	195.53	28.23	(277.44)	44.03	(9.65)
20	202.38	29.21	6.40	46.55	284.54
21	209.46	30.24	(4.80)	49.19	284.09
22	216.79	31.30	(4.80)	51.95	295.24
23	224.38	32.39	(4.80)	54.85	306.82
24	247.39	37.78	154.24	57.88	497.29
25	256.05	39.10	(24.00)	61.06	332.21
26	265.01	40.47	(4.80)	64.39	365.07
27	274.28	41.89	(4.80)	67.88	379.25
28	283.88	43.36	6.40	71.53	405.16
29	246.62	44.87	(4.80)	75.35	362.04
30	255.25	46.44	(112.32)	79.35	268.72

Para determinar la factibilidad de nuestro proyecto calcularemos el valor presente neto, la tasa interna de retorno y la tasa de rentabilidad inmediata, con una tasa de descuento del 12% (anexo 2).

Tabla IV.19. Beneficios (MDP)

AÑO	INVERSION MILLONES \$	BENEFICIOS			BENEFICIO NETO	VPN (MDP)	TIR (%)
		Beneficios COV + Tiempo + Conservación + Accidentes	Beneficios adicionales*	TOTAL			
0	(680.00)	-			(680.00)		
1		88.78	-	88.78	88.78	(600.73)	-
2	-	92.59	-	92.59	92.59	(526.92)	-
3	-	96.56	-	96.56	96.56	(458.19)	-
4	-	148.78	-	148.78	148.78	(363.64)	-
5	-	143.16	-	143.16	143.16	(282.41)	-
6	-	148.95	-	148.95	148.95	(206.95)	-
7	-	135.77	-	135.77	135.77	(145.53)	-
8	-	333.85	-	333.85	333.85	(10.70)	11.63%
9	-	181.77	-	181.77	181.77	54.85	13.72%
10	-	189.00	-	189.00	189.00	115.71	15.32%
11	-	88.99	-	88.99	88.99	141.29	15.89%
12	-	215.51	-	215.51	215.51	196.61	16.97%
13	-	212.40	-	212.40	212.40	245.28	17.77%
14	-	220.80	-	220.80	220.80	290.46	18.40%
15	-	207.92	-	207.92	207.92	328.45	18.86%
16	-	296.90	-	296.90	296.90	376.88	19.36%
17	-	243.43	-	243.43	243.43	412.33	19.68%
18	-	253.03	-	253.03	253.03	445.24	19.94%
19	-	(9.65)	-	(9.65)	(9.65)	444.12	19.93%
20	-	284.54	-	284.54	284.54	473.61	20.13%
21	-	284.09	-	284.09	284.09	549.32	20.28%
22	-	295.24	-	295.24	295.24	524.31	20.41%
23	-	306.82	-	306.82	306.82	546.95	20.52%
24	-	497.29	-	497.29	497.29	579.71	20.66%
25	-	332.21	-	332.21	332.21	599.25	20.74%
26	-	365.07	-	365.07	365.07	618.43	20.80%
27	-	379.25	-	379.25	379.25	636.21	20.86%
28	-	405.16	-	405.16	405.16	653.18	20.91%
29	-	362.04	-	362.04	362.04	666.71	20.94%
30	-	268.72	-	268.72	268.72	675.68	20.96%

CONSIDERACIONES PARA CALCULO DE INDICADORES

A) TASA DE ACTUALIZACION = 12.00%  
 B) HORIZONTE DE ANALISIS = 30

INDICADORES DE RENTABILIDAD SOCIAL

TIR (%)	20.96%
VPN (MDP)	675.68
TRI (%)	13.06%

Considerando un período de análisis de 30 años, los indicadores de rentabilidad del proyecto son los siguientes:

Tabla IV.20. Indicadores económicos

Tramo	Tasa interna de retorno (%)	Valor presente Neto (mdp)	Tasa de rentabilidad Inmediata (%)
Mexicali-San Luis Río Colorado	20.96	675.68	13.06

Los resultados obtenidos señalan que la inversión necesaria para la ampliación a cuatro carriles es rentable y, por consiguiente, la conveniencia de su realización, pues presenta un Valor Presente Neto positivo de 675.68 mdp y una tasa interna de retorno superior al 12%.

#### IV.2.2.1. Análisis de sensibilidad.

Como complemento a las conclusiones, se efectuó un análisis de sensibilidad con respecto al monto de la inversión, tomando valores del 60 hasta el 140%. El análisis indica que el proyecto Mexicali-San Luis Río Colorado es rentable aún aumentando 40% la inversión original.

Tabla IV.21. Análisis de sensibilidad por el monto de la inversión

Tasa de variación	Inversión mdp	TIR %	VPN mdp	TRI %
140%	952	16.08	403.68	9.33
130%	884	17.06	471.68	10.04
120%	816	18.17	539.68	10.88
110%	748	19.46	607.68	11.87
100%	680	20.96	675.68	13.06
90%	612	22.76	743.68	14.51
80%	544	24.94	811.68	13.62
70%	476	27.68	879.68	18.65
60%	408	31.22	947.68	21.76

En el análisis se puede ver que el proyecto es rentable, debido a que cuenta con un VPN positivo y una tasa interna de retomo muy por encima del 12.0%, aún sin tomar en cuenta los ahorros asociados al número de accidentes nuestro proyecto sería rentable por que mantendría el VPN positivo y la TIR mayor al 12%, sin embargo la tasa de rendimiento inmediato sería menor al 12%, lo que nos obligaría a tomar la decisión de esperar un año más para llevar a cabo dicha inversión.

## Conclusiones y Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos de la evaluación, es posible desprender las conclusiones siguientes:

1. La valoración de los ahorros obtenidos por la disminución de accidentes carreteros, permite aumentar en un rango de 15 a 25% los beneficios en los estudios de factibilidad.
2. La modernización de la infraestructura carretera tiene por objetivo principal el abatir el índice de accidentabilidad, por lo que éste debe ser tomado en cuenta en los respectivos estudios costo/beneficio.
3. Será necesario profundizar en la determinación del valor económico de una persona, para que los resultados obtenidos sean más precisos.
4. La intención de este trabajo no es lograr la rentabilidad de los proyectos; el fin es el brindar una nueva herramienta que involucre a variables que han quedado fuera de los estudios.
5. Con base en los resultados obtenidos por el uso de la propuesta metodológica descrita, se determinó que en una primera etapa esta es aplicable principalmente en la modernización de la infraestructura carretera (ampliación de carreteras); lo anterior tomando en consideración que la construcción de carreteras aumentan las velocidades de operación respecto a las actuales, ocasionando que aunque el número de accidentes sea menor las consecuencias de estos sean funestas en mayor medida aumentando con ello los valores asociados al índice de accidentes en condiciones con proyecto y por ende disminuyendo los beneficios obtenidos.

## Bibliografía

- ✓ Policía Federal Preventiva, Base de datos de participantes en accidentes ocurridos en los años 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003 en la Red Carretera Federal.
- ✓ Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Sistema de Información Geoestadística del Transporte (SIGET).
- ✓ Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003.
- ✓ Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Sistema de Información Geográfica de Accidentes (SIGA).
- ✓ Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Carreteras Federales, Anuario Estadístico 1994-2003.
- ✓ Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Unidad de Autopistas de Cuota, Evaluación de Proyectos de Infraestructura Carretera.
- ✓ Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Servicios Técnicos, Datos Viales 1996-2001.
- ✓ Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Servicios Técnicos, Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003.
- ✓ INEGI, Censos para 1995 y 2000 y Conteos de Población y Vivienda.

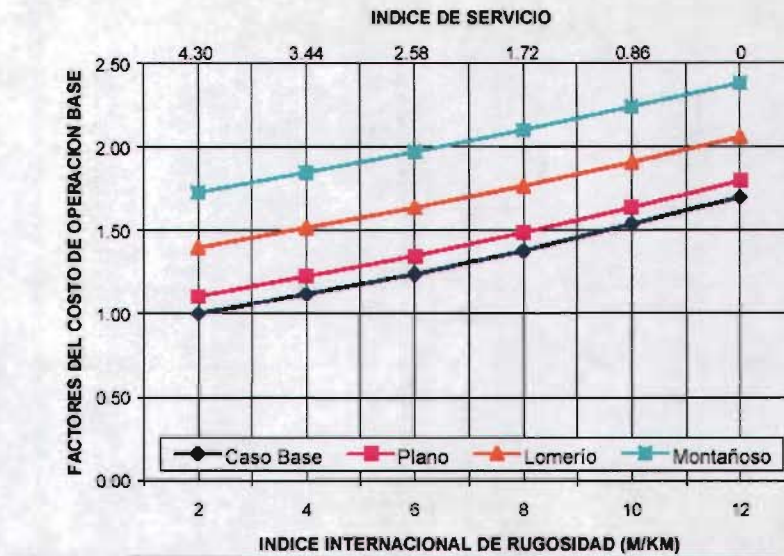


- ✓ INEGI, Jaque, C M, Población de México en 1990.
  
- ✓ Mendoza A, J M Chavarria y E Mayoral. Some Measures to Improve Safety of Road Motor Transport in México, Journal of Transportation Research Record (TRR), Num 1613, National Research Council, Washington, E.E.U.U. 1989.
  
- ✓ Checkland Peter, Systems Thinking, system practice, John Wiley & Sons, 1981.
  
- ✓ Checkland Peter & Scholes Jim, Soft Systems Methodology in Action, Ed Wiley England, 1990.
  
- ✓ Checkland Peter & Howell Sue, Information Systems a Information Systems, John Wiley & Sons, Lancaster University, UK, 1981. Methodology in Action, Ed Wiley England, 1990.
  
- ✓ Fuentes Zenon, Metodologías para la Planeación Normativa, Cuadernos de Planeación y Sistemas No. 1, DEPMI, UNAM, 1993.

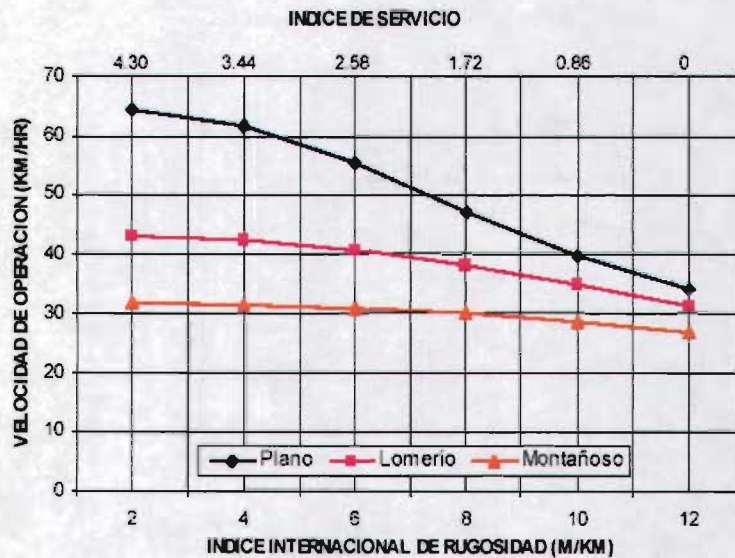
# **ANEXO 1**

## GRAFICAS PARA CONOCER EL FACTOR DEL COSTO DE OPERACIÓN

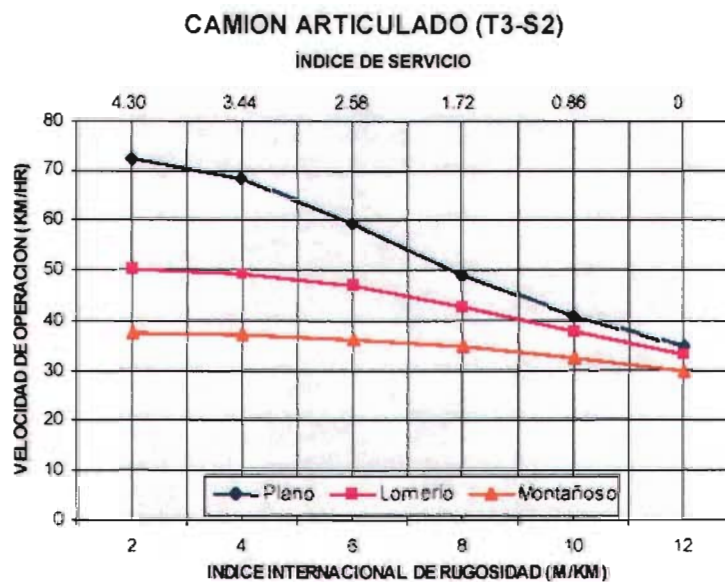
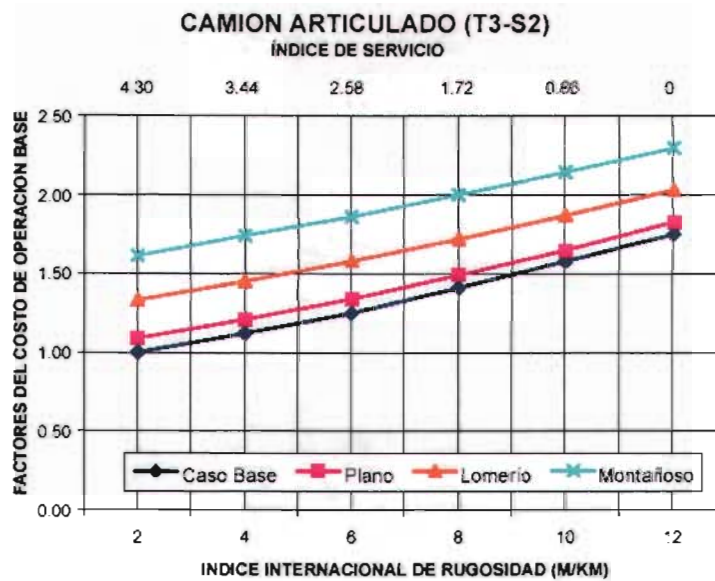
### CAMION ARTICULADO (T3-S3)



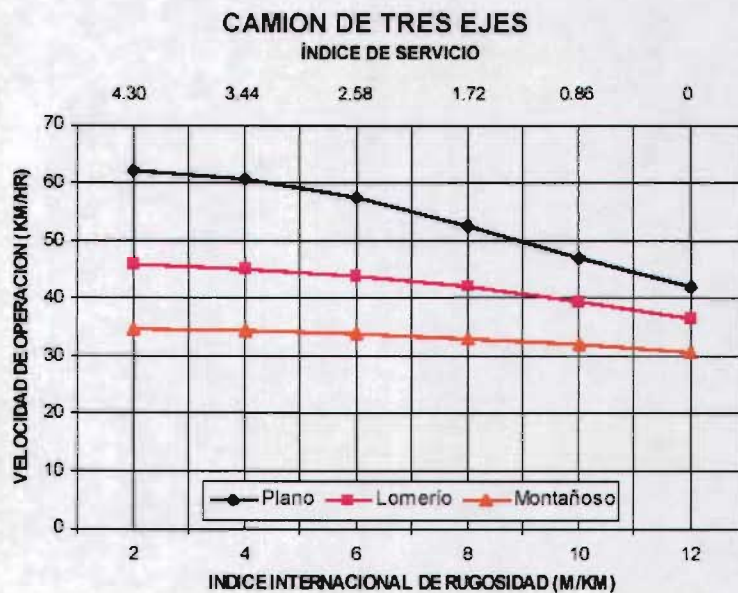
### CAMION ARTICULADO (T3-S3)



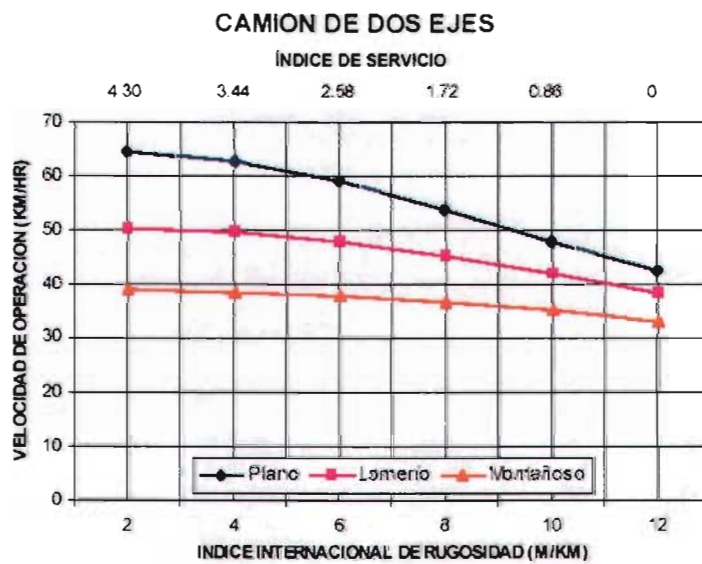
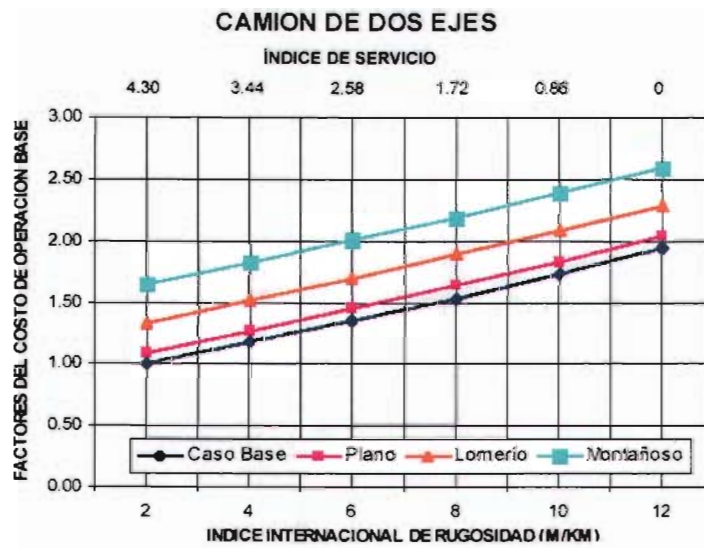
## GRAFICAS PARA CONOCER EL FACTOR DEL COSTO DE OPERACIÓN



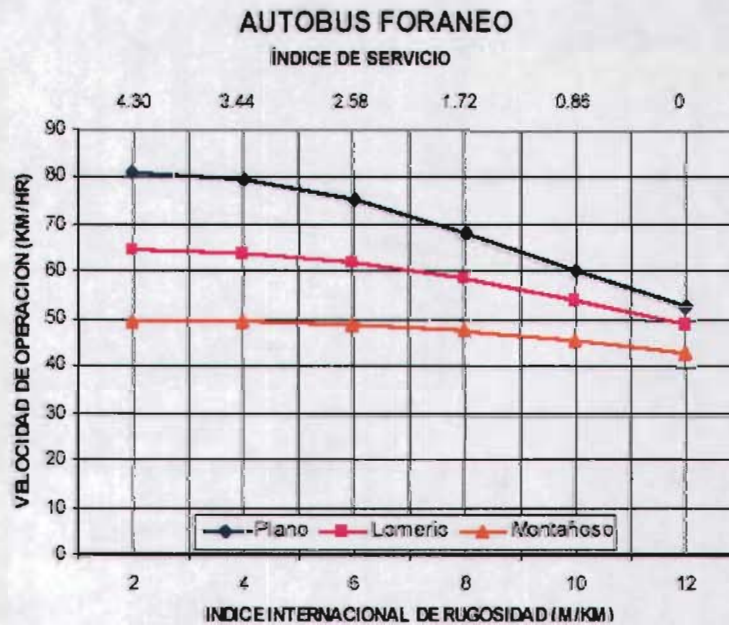
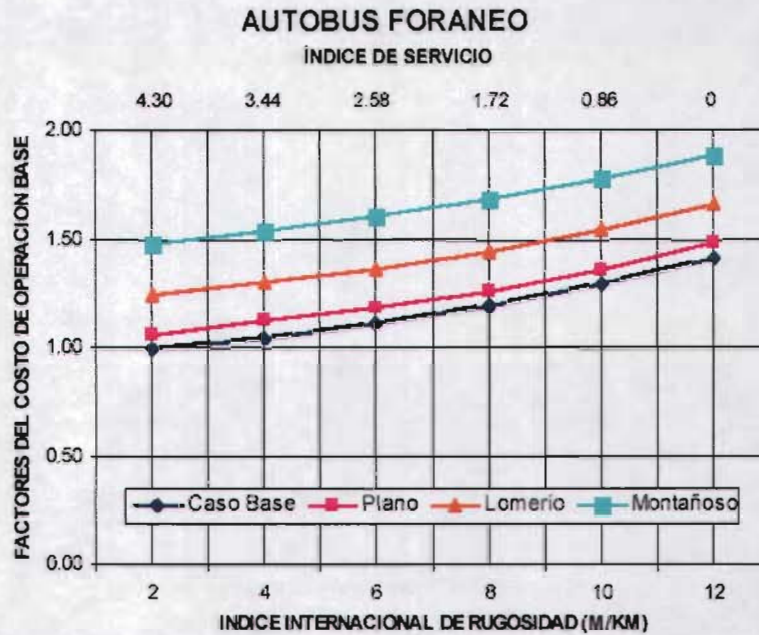
## GRAFICAS PARA CONOCER EL FACTOR DEL COSTO DE OPERACIÓN



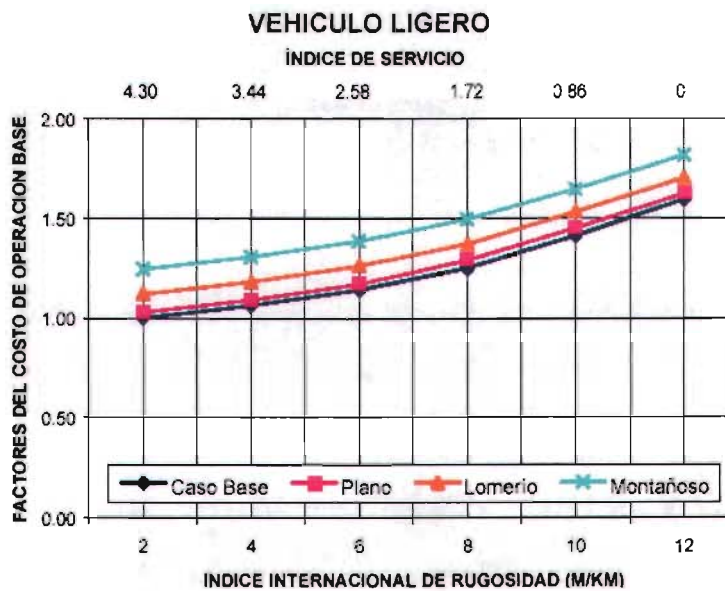
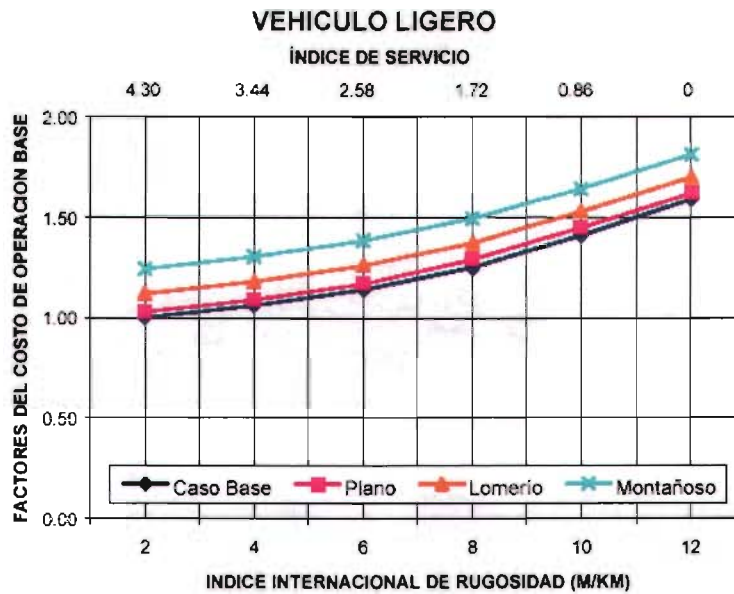
## GRAFICAS PARA CONOCER EL FACTOR DEL COSTO DE OPERACIÓN



## GRAFICAS PARA CONOCER EL FACTOR DEL COSTO DE OPERACIÓN



## GRAFICAS PARA CONOCER EL FACTOR DEL COSTO DE OPERACIÓN

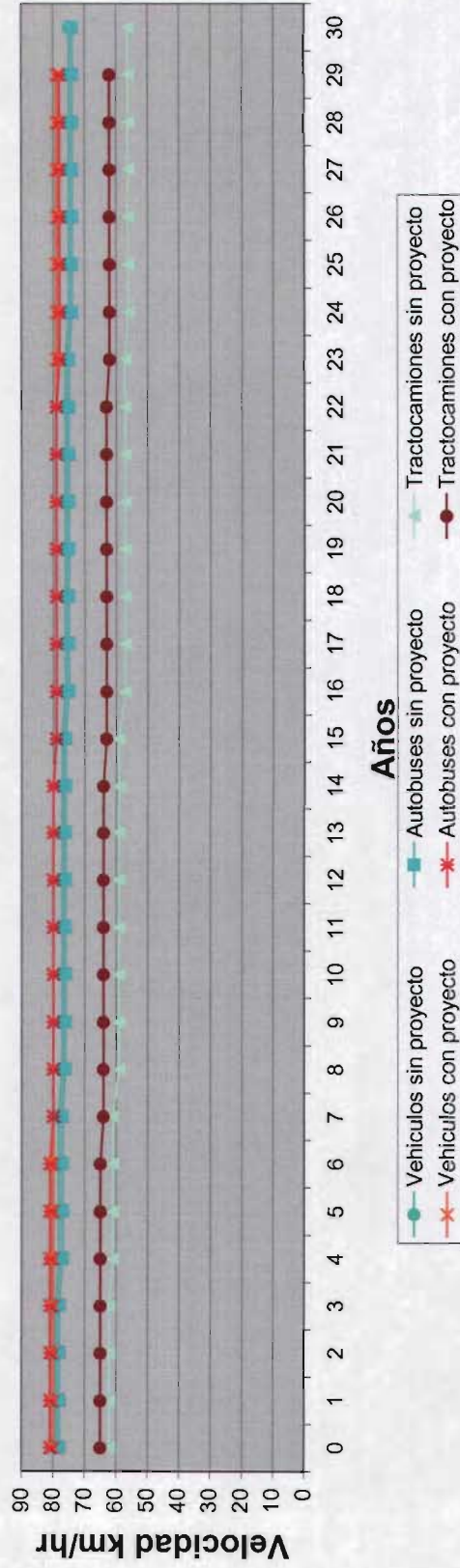




# **ANEXO 2**

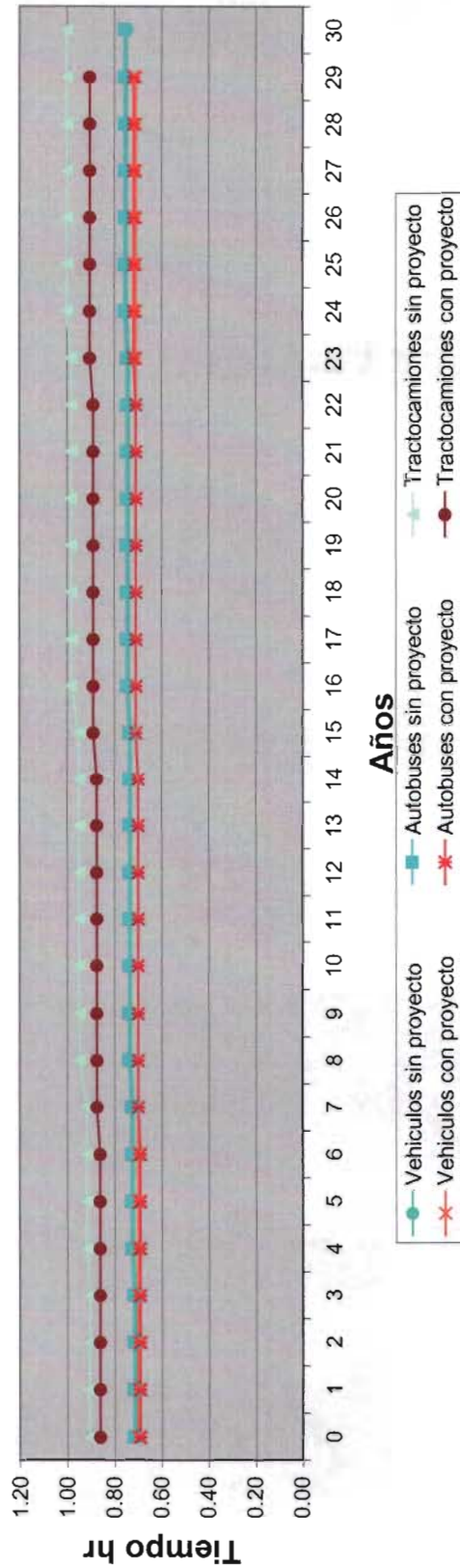
# SONOITA-MEXICALI TR. SAN LUIS RIO COLORADO-MEXICALI

Grafica de velocidades



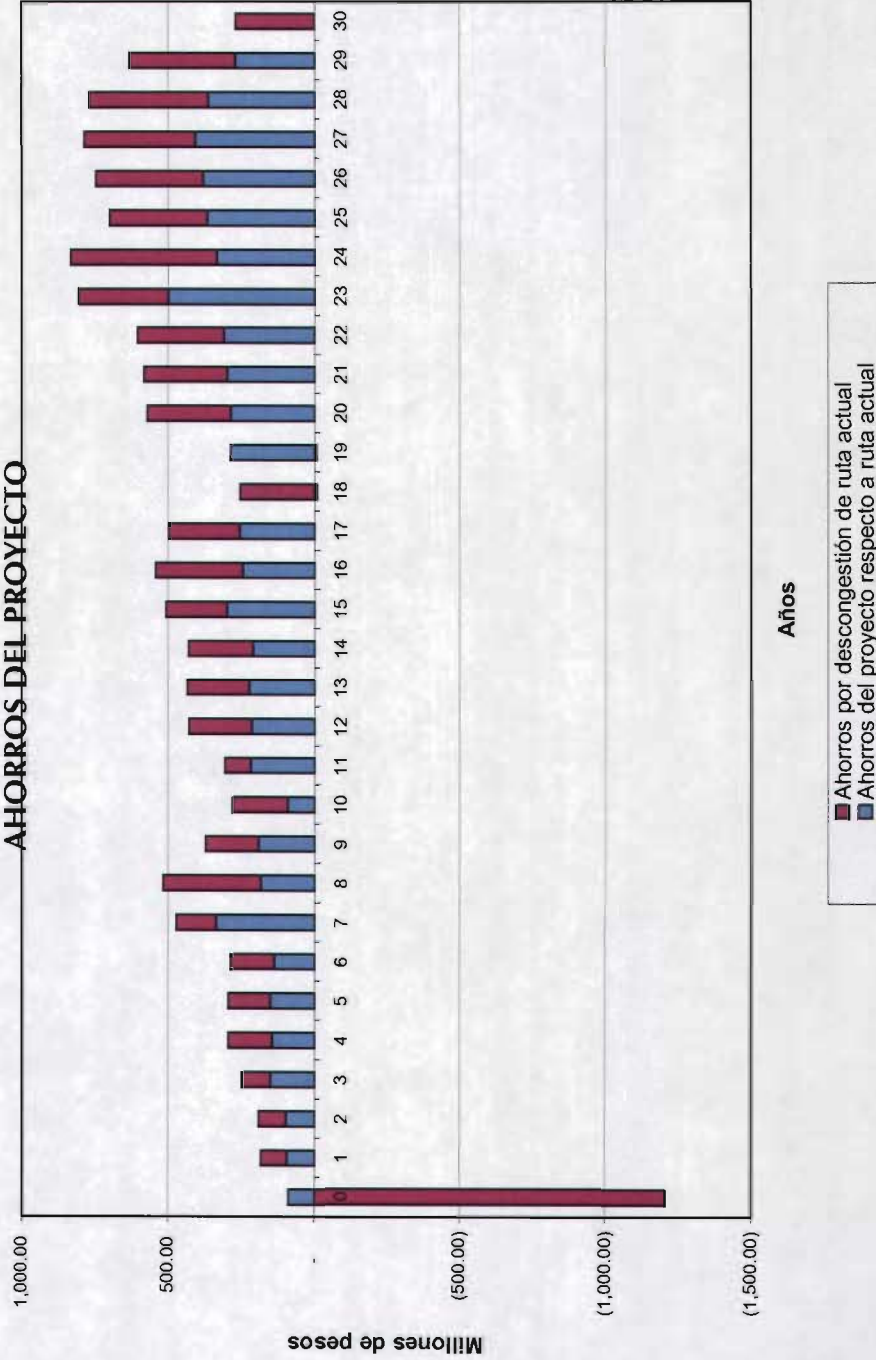
# SONOITA-MEXICALI TR. SAN LUIS RIO COLORADO-MEXICALI

Grafica de tiempos



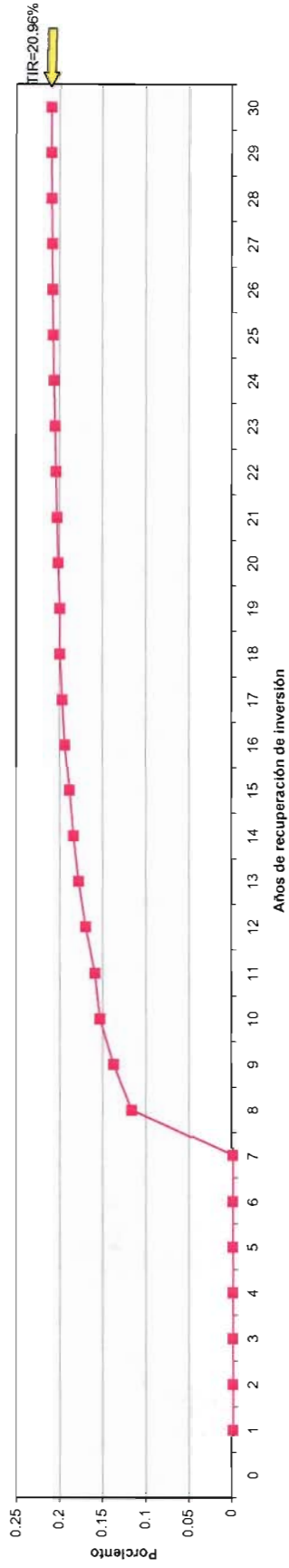
# MEXICALI-SAN LUIS RÍO COLORADO

## AHORROS DEL PROYECTO

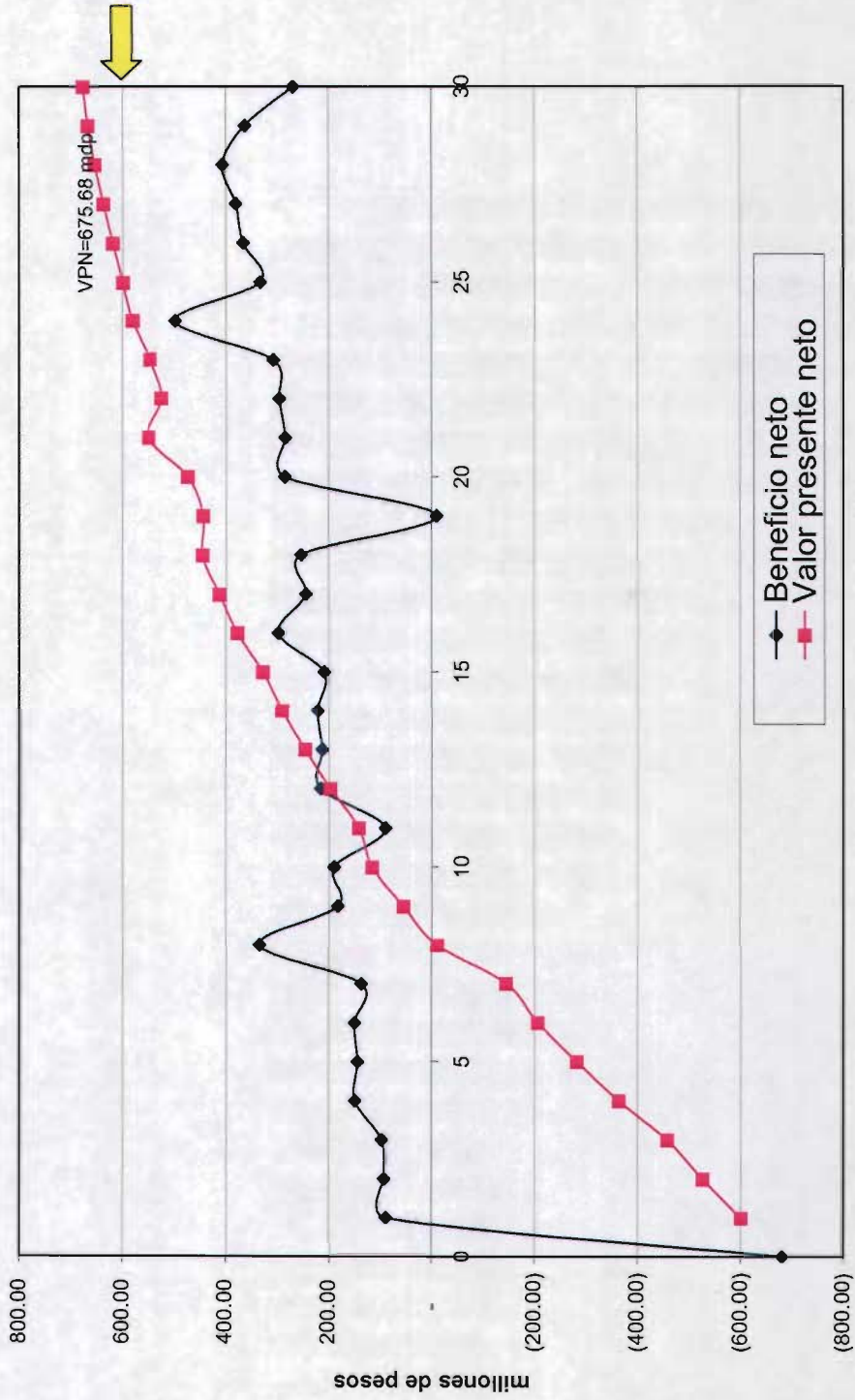


# MEXICALI-SAN LUIS RÍO COLORADO

## TASA INTERNA DE RETORNO



# MEXICALI-SAN LUIS RÍO COLORADO



Años de recuperación de inversión

# MEXICALI-SAN LUIS RÍO COLORADO

## COMPARACION DE COSTOS DEL PROYECTO

