



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE CRITERIOS DE DECISIÓN PARA LA INVERSIÓN
EN OBRAS DE SEGURIDAD VIAL, EN PROYECTOS DE MEJORAMIENTO
Y REHABILITACIÓN DE RUTAS INTERURBANAS.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

EDUARDO ANDRES GODOI TORRES

PROFESOR GUÍA:
JULIO TORREJÓN OLMOS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CARLOS AGUILERA GUTIERREZ
RENÉ VERDEJO BARRAZA

SANTIAGO DE CHILE
MARZO 2010

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: EDUARDO GODOI T.
FECHA: 13 ABRIL 2010
PROF. GUÍA: SR. JULIO TORREJÓN O.
PROF. CO-GUÍA: SR. CARLOS AGUILERA G.
PROF. INTEGRANTE: SR. RENÉ VERDEJO B.

“ANÁLISIS DE CRITERIOS DE DECISIÓN PARA LA INVERSIÓN EN OBRAS DE SEGURIDAD VIAL, EN PROYECTOS DE MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE RUTAS INTERURBANAS”.

El objetivo central del trabajo de título es confeccionar una base metodológica, que permita medir la conveniencia de incorporar obras de seguridad vial en rutas interurbanas, clasificando los proyectos de mejoramiento según sus efectos en la reducción de la tasa de accidentes.

Todos los proyectos de carácter público que requieren de recursos fiscales siguen un conducto regular definido para todas las inversiones del Estado, desde su estudio de factibilidad hasta el término de su vida útil. En esta directriz el Ministerio de Planificación es el organismo encargado de evaluar, de manera técnica y económica, los proyectos presentados por las entidades estatales, lo que condiciona la posterior aprobación, y consecuente asignación de recursos por parte del Estado.

En esta línea también se orientan los proyectos presentados por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, los que son aprobados cuando existe una justificación de acuerdo con los criterios utilizados actualmente en la evaluación de proyectos viales, los que presentan un claro enfoque en el impacto del proyecto sobre los usuarios directos del camino, más precisamente sobre el tránsito vehicular. Lo que ha repercutido en la postergación de proyectos que contemplan obras de seguridad vial, debido a que no existen herramientas que permitan incorporarlas en el análisis de rentabilidad.

Para ello se planificó de manera conjunta con el Departamento de Seguridad Vial, la elaboración de un criterio de decisión en base a indicadores, que fueron calibrados realizando evaluaciones de prefactibilidad en diversos proyectos reales de mejoramiento de rutas, calculándolos y determinando una relación con la tasa de accidentes del camino en cada caso. Estos indicadores cumplen la función de comparar el impacto de reducir la tasa de accidentes con el resto de las variables involucradas en la evaluación.

El resultado final corresponde a valores críticos de estos indicadores que permiten segregar los proyectos en orden de importancia para la seguridad vial, y justificar aquellos que califiquen dentro del rango aceptable. Se recomienda mejorar esta herramienta mediante una actualización y una calibración más precisa de los indicadores para su posterior validación, y de este modo ser utilizada por el Estado como herramienta oficial complementaria a las metodologías de evaluación vigentes, que incorpore la dimensión de seguridad de tránsito como variable de decisión.

Agradecimientos

A mis padres y mi hermano...quisiera dedicar unas líneas de agradecimiento por su apoyo incondicional durante toda mi etapa de estudiante y en especial, por darme su cariño y preocupación tan necesarios para salir adelante en la vida, que sin ellos hubiera sido imposible.

A la escuela de Ingeniería y a esta gran Universidad...por haber cumplido un rol fundamental en mi formación, no solo profesional sino también personal, por enseñarme el valor del trabajo ético y la constancia, que la educación pública tiene un papel integrador en la sociedad chilena, derriba las barreras sociales y permite que todos nosotros nos podamos mirar a los ojos sin prejuicios. Quiero agradecer a todos sus académicos, funcionarios y alumnos por mantener siempre vivo el espíritu de la Universidad de Chile, de la vieja escuela siempre comprometida con el desarrollo del país. Sencillamente fueron los mejores años de mi vida que recordaré por siempre.

A mis profesores integrantes de la comisión; Don Julio Torrejón, Don Carlos Aguilera y Don René Verdejo, por su excelente disposición y constante colaboración en el desarrollo del trabajo de título, y de un modo particular al Departamento de Seguridad Vial del Ministerio de Obras Públicas, a quienes les debo un agradecimiento especial por haberme dado todas las facilidades para acceder a fuentes de información, documentación y colaboración de sus profesionales, entre los que destaco a su jefe Don René Verdejo y a Don Pedro Salazar.

A mi Andreita quien me ha acompañado en este último tiempo dándome su apoyo y compañía incondicionalmente...

A Dios y a la virgen por su compañía permanente, principalmente en los momentos difíciles. Gracias por haberme dado esta gran oportunidad...

A mis amigos y a todos aquellos que colaboraron para que hoy pueda concretar mi sueño.

Eduardo Godoi Torres

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: Introducción general.....	9
1.1 Introducción al Problema Propuesto.....	10
1.2 Objetivos Generales.....	11
1.3 Alcances generales de la Metodología.....	12
CAPÍTULO 2: Antecedentes generales para la evaluación social - económica de proyectos de vialidad interurbana.....	14
2.1 La función del camino en el sistema de transporte.....	15
2.2 Marco teórico del ciclo normal de un camino.....	16
2.3 Antecedentes sobre los accidentes de tránsito.....	19
2.4 Efectos de un proyecto de mejoramiento y rehabilitación.....	20
2.5 Beneficio social de las obras anexas.....	21
CAPÍTULO 3: Metodología para la evaluación social de proyectos de mejoramiento y rehabilitación de rutas interurbanas.....	23
3.1 Evaluación económica de la obra principal.....	24
3.1.1.Costo de operación de los vehículos.....	24
3.1.2.Costo del tiempo de viaje.....	24
3.1.3.Costo de los accidentes de tránsito.....	25
3.1.4.Costos de conservación.....	25
3.2 Antecedentes HIGHWAY DEVELOPMENT AND MANAGEMENT (HDM-III)	26
3.2.1.Datos de entrada.....	26
3.2.2.Marco analítico de HDM-III.....	27
3.3 Evaluación económica de las obras anexas.....	29
3.3.1.Cálculo del costo social de accidentes.....	29
3.3.2.Metodología de la Secretaria del Transporte.....	31
CAPÍTULO 4: Análisis de los criterios de decisión propuestos para la inversión en proyectos de seguridad vial.....	45
4.1 Criterios establecidos para la evaluación social.....	46
4.1.1.Análisis de rentabilidad de la Seguridad Vial.....	47
4.1.2.Impacto de la Seguridad Vial en la rentabilidad del proyecto.....	48
4.1.3. Compensación del proyecto.....	50
CAPÍTULO 5: Calibración de indicadores mediante estudios de prefactibilidad.....	52
5.1 Calibración de indicadores.....	53
5.1.1.Mejoramiento y rehabilitación Ruta 60 Ch. V Región.....	53
5.1.2.Reposición Ruta 215 Ch. X Región.....	61

5.1.3.	Ampliación y reposición Ruta 5 Chiloé, X Región.....	68
5.1.4.	Reposición Ruta 199 Ch. IX Región.....	76
5.1.5.	Mejoramiento Ruta R-42.. IX Región.....	83
5.1.6.	Mejoramiento Ruta R-89.. IX Región.....	89
5.1.7.	Mejoramiento Ruta 5 Norte.. III Región.....	95
5.1.8.	Mejoramiento Ruta 5 Sur. X Región.....	101
5.2	Análisis de sensibilidad de los indicadores.....	107
5.2.1.	Beneficio de las obras anexas según la tasa de accidentes.....	107
5.2.2.	RI según la tasa de accidentes.....	108
5.2.3.	IRSV según de la tasa de accidentes.....	109
5.2.4.	Variación porcentual del VAN según el monto de inversión total.....	110
5.3	Resumen de resultados.....	111
5.3.1	Relación tasa de accidentes - IRSV.....	111
5.3.2.	Banda de tendencia r/r^* - IRSV.....	111
5.3.3.	IRSV - período de evaluación.....	112
5.3.4.	Relación variación porcentual del VAN - RI.....	112
CAPÍTULO 6: Tendencias mundiales en Seguridad Vial.....		113
6.1	Aspectos generales del diseño vial, con enfoque en la seguridad vial de la ruta, realizado en Europa y EE.UU.....	114
CAPÍTULO 7: Discusión y Conclusiones.....		117
7.1	Discusión y Conclusiones.....	118
7.2	Consideraciones generales.....	121
7.3	Recomendaciones.....	122
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		124
ANEXOS.....		126
A	Resultados evaluación HDM-3.....	127
B	Costo social unitario de accidentes.....	135
B.1.	Actualización del factor social.....	135
B.2.	Costo social unitario por daños a vehículos motorizados.....	135
B.3.	Costo social unitario asociado al tratamiento de lesionados.....	135
B.4.	Corrección monetaria hasta 2008 según variación del IPC.....	136
C	Cálculo de indicadores.....	137
C.1.	Ruta 60 Ch.....	137
C.2.	Ruta 215 Ch.....	138
C.3.	Ruta 5 Chiloé.....	139
C.4.	Ruta 199 Ch.....	140
C.5.	Ruta R-42.....	141
C.6.	Ruta R-89.....	142
C.7.	Ruta 5 Norte.....	143
C.8.	Ruta 5 Sur.....	144

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

Cuadro 2.2.1	Evaluación de los costos operacionales en función del estado de deterioro del camino en el transcurso del tiempo.....	18
Cuadro 2.5.1	Aspectos relevantes en un estudio de preinversión de un proyecto vial.....	22
Tabla 3.2.2.1	Precios sociales de Junio de 2008.....	28
Tabla 3.3.1.1	Costo Social unitario según tipología de accidentes.....	30
Tabla 3.3.1.2	Costo social según tipo de lesión.....	30
Cuadro 3.3.1.1	Variación mensual del IPC.....	31
Tabla 3.3.2.1	Barreras de contención.....	32
Tabla 3.3.2.2	Amortiguadores de impacto.....	32
Tabla 3.3.2.3	Habilitación de pista para vehículos lentos.....	32
Tabla 3.3.2.4	Ensanche e implementación de bermas.....	33
Tabla 3.3.2.5	Límites de velocidad.....	34
Tabla 3.3.2.6	Dispositivos para el control de velocidad.....	34
Tabla 3.3.2.7	Reducción de pendiente de los taludes y mejoramiento de área despejada....	34
Tabla 3.3.2.8	Realineamiento vertical y horizontal y mejoras en distancia de visibilidad....	35
Tabla 3.3.2.9	Pendientes.....	36
Tabla 3.3.2.10	Distancia de visibilidad.....	37
Tabla 3.3.2.11	Reconstrucción, rehabilitación y recarpeteo de vías.....	37
Tabla 3.3.2.12	Instalación de iluminación.....	38
Tabla 3.3.2.13	Instalación de demarcación.....	39
Tabla 3.3.2.14	Barreras y sistemas de control en cruces ferroviarios.....	40
Tabla 3.3.2.15	Otros tratamientos.....	41
Tabla 3.3.2.16	Distribución porcentual de accidentes según tipología.....	43
Tabla 3.3.2.17	Distribución porcentual de accidentes según nivel de gravedad de los lesionados.....	43
Cuadro 4.1.1	Variación del flujo de cajas para la incorporación de obras en Seguridad Vial	46
Tabla 5.1.1.1	Antecedentes generales de la obra principal ruta 60 Ch.....	53
Tabla 5.1.1.2	Antecedentes generales de las obras anexas ruta 60 Ch.....	55
Tabla 5.1.1.4.1	Costo social de accidentes sin proyecto ruta 60 Ch.....	56
Tabla 5.1.1.4.2	Aplicación de los factores de reducción ruta 60 Ch.....	57
Tabla 5.1.1.4.3	Costo social de accidentes con proyecto ruta 60 Ch.....	58
Gráfico 5.1.1.4.3.1	Variación del costo social anual de accidentes ruta 60 Ch.....	58
Tabla 5.1.1.5	Evaluación económica ruta 60 Ch.....	59
Gráfico 5.1.1.5.1	Variación del flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial ruta 60 Ch.....	60
Tabla 5.1.1.5.2	Indicadores del proyecto ruta 60 Ch.....	60
Tabla 5.1.2.1	Antecedentes generales de la obra principal ruta 215 Ch.....	61
Tabla 5.1.2.2	Antecedentes generales de las obras anexas ruta 215 Ch.....	62
Tabla 5.1.2.4.1	Costo social de accidentes sin proyecto ruta 215 Ch.....	63
Tabla 5.1.2.4.2	Aplicación de los factores de reducción ruta 215 Ch.....	64
Tabla 5.1.2.4.3	Costo social de accidentes con proyecto ruta 215 Ch.....	64
Gráfico 5.1.2.4.3.1	Variación del costo social anual de accidentes ruta 215 Ch.....	64
Tabla 5.1.2.5	Evaluación económica ruta 215 Ch.....	65
Gráfico 5.1.2.5.1	Variación del flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial ruta 215 Ch.....	66
Tabla 5.1.2.5.2	Indicadores del proyecto ruta 215 Ch.....	66
Tabla 5.1.3.1	Antecedentes generales de la obra principal ruta 5 Chiloé.....	68
Tabla 5.1.3.2	Antecedentes generales de las obras anexas ruta 5 Chiloé.....	69
Tabla 5.1.3.4.1	Costo social de accidentes sin proyecto ruta 5 Chiloé.....	71
Tabla 5.1.3.4.2	Aplicación de los factores de reducción ruta 5 Chiloé.....	72

Tabla 5.1.3.4.3	Costo social de accidentes con proyecto ruta 5 Chiloé.....	72
Gráfico 5.1.3.4.3.1	Variación del costo social anual de accidentes ruta 5 Chiloé.....	73
Tabla 5.1.3.5	Evaluación económica ruta 5 Chiloé.....	74
Gráfico 5.1.3.5.1	Variación del flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial ruta 5 Chiloé.....	75
Tabla 5.1.3.5.2	Indicadores del proyecto ruta 5 Chiloé.....	75
Tabla 5.1.4.1	Antecedentes generales de la obra principal ruta 199 Ch.....	76
Tabla 5.1.4.2	Antecedentes generales de las obras anexas ruta 199 Ch	77
Tabla 5.1.4.4.1	Costo social de accidentes sin proyecto ruta 199 Ch	78
Tabla 5.1.4.4.2	Aplicación de los factores de reducción ruta 199 Ch.....	79
Tabla 5.1.4.4.3	Costo social de accidentes con proyecto ruta 199 Ch	79
Gráfico 5.1.4.4.3.1	Variación del costo social anual de accidentes ruta 199 Ch.....	80
Tabla 5.1.4.5	Evaluación económica ruta 199 Ch.....	81
Gráfico 5.1.4.5.1	Variación del flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial ruta 199 Ch.....	82
Tabla 5.1.4.5.2	Indicadores del proyecto ruta 199 Ch	82
Tabla 5.1.5.1	Antecedentes generales de la obra principal ruta R-42.....	83
Tabla 5.1.5.2	Antecedentes generales de las obras anexas ruta R-42... ..	84
Tabla 5.1.5.4.1	Costo social de accidentes sin proyecto ruta R-42	85
Tabla 5.1.5.4.2	Aplicación de los factores de reducción ruta R-42.....	85
Tabla 5.1.5.4.3	Costo social de accidentes con proyecto ruta R-42.....	86
Gráfico 5.1.5.4.3.1	Variación del costo social anual de accidentes ruta R-42.....	86
Tabla 5.1.5.5	Evaluación económica ruta R-42.....	87
Gráfico 5.1.5.5.1	Variación del flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial ruta R-42.....	88
Tabla 5.1.5.5.2	Indicadores del proyecto ruta R-42.....	88
Tabla 5.1.6.1	Antecedentes generales de la obra principal ruta R-89.....	89
Tabla 5.1.6.2	Antecedentes generales de las obras anexas ruta R-89... ..	90
Tabla 5.1.6.4.1	Costo social de accidentes sin proyecto ruta R-89	90
Tabla 5.1.6.4.2	Aplicación de los factores de reducción ruta R-89.....	91
Tabla 5.1.6.4.3	Costo social de accidentes con proyecto ruta R-89.....	92
Gráfico 5.1.6.4.3.1	Variación del costo social anual de accidentes ruta R-89.....	92
Tabla 5.1.6.5	Evaluación económica ruta R-89.....	93
Gráfico 5.1.6.5.1	Variación del flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial ruta R-89.....	94
Tabla 5.1.6.5.2	Indicadores del proyecto ruta R-89.....	94
Tabla 5.1.7.1	Antecedentes generales de la obra principal ruta 5N.....	95
Tabla 5.1.7.2	Antecedentes generales de las obras anexas ruta 5N.....	96
Tabla 5.1.7.4.1	Costo social de accidentes sin proyecto ruta 5N	97
Tabla 5.1.7.4.2	Aplicación de los factores de reducción ruta 5N.....	98
Tabla 5.1.7.4.3	Costo social de accidentes con proyecto ruta 5N	98
Gráfico 5.1.7.4.3.1	Variación del costo social anual de accidentes ruta 5N.....	98
Tabla 5.1.7.5	Evaluación económica ruta 5N.....	99
Gráfico 5.1.7.5.1	Variación del flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial ruta 5N.....	100
Tabla 5.1.7.5.2	Indicadores del proyecto ruta 5N	100
Tabla 5.1.8.1	Antecedentes generales de la obra principal ruta 5 Sur.....	101
Tabla 5.1.8.2	Antecedentes generales de las obras anexas ruta 5 Sur.....	102
Tabla 5.1.8.4.1	Costo social de accidentes sin proyecto ruta 5 Sur.....	103
Tabla 5.1.8.4.2	Aplicación de los factores de reducción ruta 5 Sur.....	103
Tabla 5.1.8.4.3	Costo social de accidentes con proyecto ruta 5 Su.....	104
Gráfico 5.1.8.4.3.1	Variación del costo social anual de accidentes ruta 5 Sur.....	104
Tabla 5.1.8.5	Evaluación económica ruta 5 Sur.....	105

Gráfico 5.1.8.5.1	Variación del flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial ruta 5 Sur.....	106
Tabla 5.1.8.5.2	Indicadores del proyecto ruta 5 Sur.....	106
Tabla 5.2.1	Variación del beneficio de las obras anexas para un rango de dispersión de la tasa de accidentes.....	107
Tabla 5.2.2	Variación del indicador RI para un rango de dispersión de la tasa de accidentes.....	108
Tabla 5.2.3	Variación del indicador IRSV para un rango de dispersión de la tasa de accidentes.....	109
Tabla 5.2.4	Impacto en la variación porcentual del VAN para un rango de dispersión del monto de inversión total.....	110
Gráfico 5.3.1.1	Tasa de accidentes r/r^* - IRSV.....	111
Gráfico 5.3.2.1	Banda de tendencia Tasa de accidentes r/r^* - IRSV.....	111
Gráfico 5.3.3.1	IRSV – Período de evaluación.....	112
Gráfico 5.3.4.1	Variación porcentual VAN – Razón de inversión.....	112
Cuadro 7.1.1	Criterios de decisión propuestos.....	120
Tabla Anexo A	Resultados evaluación económica.....	127
Tabla Anexo B	Costo social unitario de accidentes.....	135
Tabla Anexo C	Cálculo de indicadores.....	137



LISTA DE DEFINICIÓN DE SÍMBOLOS Y FORMULAS

1. **Tránsito medio diario anual** TMDA [Vehículos/día]

TMDA_o : Tránsito medio diario anual antes de ejecutar el proyecto

2. **Reducción de la tasa de accidentes** Δr [%]

$$\Delta r = r_{\text{sin proyecto}} - r_{\text{con proyecto}}$$

3. **Flujo de caja** F_i [miles de pesos]

B_i : Beneficio total del período i

C_i : Costo total del período i

$$F_i = B_i - C_i$$

F_o : Flujo del período $i=1$

4. **Tasa de descuento social** r [%]

$$r \cong 8\%$$

5. **Período de evaluación** N [años]

$$N \cong 10$$

$$i \in \{1, N\}$$

6. **Valor Presente Neto** VPN [miles de pesos]

$$VPN = F_o + \sum_{i=1}^N \frac{F_i}{\prod_{j=1}^i (1+r)}$$

VPN_o : Valor Presente neto incluyendo beneficio de las obras anexas

VPN_{SOA} : Valor Presente neto excluyendo beneficio de las obras anexas

$$IVAN = \frac{VPN}{I}$$

7. **Inversión inicial** I [miles de pesos]

I_o : Inversión inicial (con obras en seguridad vial)

I_{sv} : Inversión inicial en Seguridad Vial

$$I_{sv} \cong 0,2 \cdot I_o$$

8. **Ítem** k

$k = \{ \text{Operacional, Conservación, Tiempo de viaje, Accidentes} \}$



9. **Costos sociales C**[miles de pesos]

C_{ki} : Costo del ítem k del período i

10. **Ahorro de costos sociales (Beneficios) B**[miles de pesos]

$B_{ki} = C_{ki \text{ sin proyecto}} - C_{ki \text{ con proyecto}}$

11. **Índice de Costos del período i** IC_i [adimensional]

C_{ki} : Costo del ítem k en el período i

$$IC_i = \frac{C_{\text{accidentes } i}}{\sum_{k_1}^{k_4} C_{ki}}$$

12. **Índice de Beneficios del período i** IB_i [adimensional]

$B_{\text{Obras anexas } i} = B_{\text{Accidentes } i}$

B_{ki} : Ahorro de costos del ítem k en el período i

$$IB_i = \frac{B_{\text{Obras anexas } i}}{\sum_{k_1}^{k_4} B_{ki}}$$

13. **Índice de rentabilidad de la Seguridad Vial** $IRSV$ [adimensional]

$$IRSV = \frac{\sum_{i=1}^N IB_i}{\sum_{i=1}^N IC_i}$$

14. **Razón de Inversión** RI [adimensional]

$$RI = \frac{IVAN_o}{IVAN_{SOA}}$$

15. **Índice de Compensación del Proyecto** ICP [adimensional]

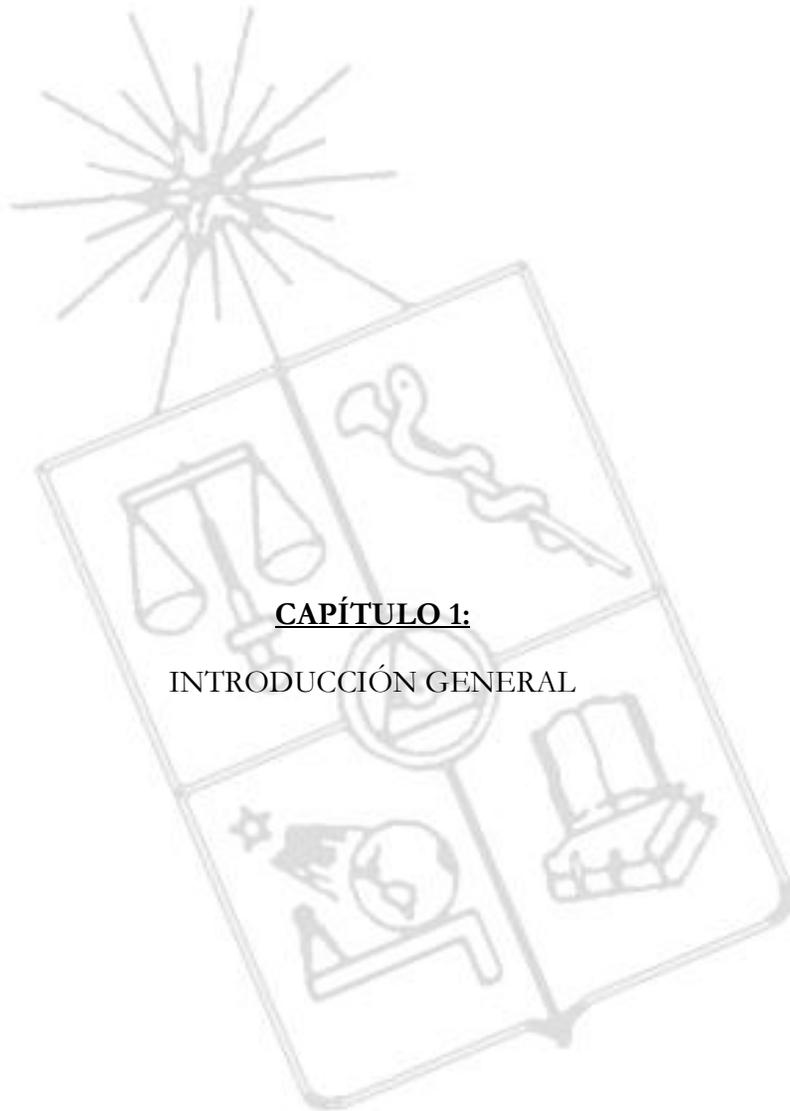
16.
$$ICP = \frac{\sum_{i=1}^N B/C_{oi}}{\sum_{i=1}^N B/C_{SOAi}}$$



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Trabajo de Título



CAPÍTULO 1:
INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA PROPUESTO

De acuerdo con las metodologías de evaluación social vigentes, el análisis de proyectos viales comprende la valoración de los beneficios que genera la denominada obra vial principal. Al respecto la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, tiene entre sus antecedentes las herramientas para el cálculo del beneficio social de una obra caminera, en términos de reducción de los costos operacionales de los vehículos, la disminución de los tiempos de viaje y la reducción de los costos de conservación asociados básicamente al mejoramiento de estándar de una ruta¹. La obra principal puede consistir de los siguientes aspectos:

- Pavimentación
- Reposición de pavimento
- Ensanche de calzada
- Mejoramientos geométricos verticales y horizontales
- Reducción de taludes de corte
- Entre otros

Sin embargo, actualmente no se consideran en la evaluación otros beneficios que se pueden presentar en un proyecto de vialidad interurbana, especialmente los relacionados a obras adicionales o anexas al camino¹. Entre estas obras se pueden considerar las siguientes:

- Aceras peatonales
- Ciclovías
- Iluminación
- Paisajismo
- Elementos de seguridad vial
- Entre otras

Se estima por tanto, que el beneficio de los proyectos viales se encuentra subvalorado al no considerar los efectos sociales de las obras anexas, al reducir la tasa de accidentes en la ruta en que se realiza la evaluación producto de contar con una ruta más segura y de mayor estándar.

¹ Desarrollo de Metodología de valoración de beneficios de Obras Anexas de Proyectos de Vialidad Interurbana. CITRA Consultores en Ingeniería de Transporte LTDA.



Las bases indican que los costos de inversión de las obras anexas son considerados dentro de los costos totales de inversión del proyecto de camino, pero no se les asigna un beneficio correspondiente.

Por lo tanto, se plantea precisamente valorar los efectos de estos beneficios, para posteriormente ser utilizado en la evaluación de la rentabilidad social de diversas rutas con un estándar similar, lo que permitirá en lo posible establecer parámetros de tendencia del impacto que tiene la seguridad vial en proyectos de mejoramiento.

Preliminarmente se consideró analizar tal impacto en un proyecto de mejoramiento de la ruta D-43, sin embargo, ante la falta de suficientes antecedentes y considerando que los resultados de una sola evaluación no permiten concluir de manera categórica una tendencia del impacto de la seguridad vial, y teniendo presente además, que los resultados no dependen significativamente del tipo de ruta, sino que de la evaluación económica, se cambió levemente el enfoque del Trabajo de Título, sin embargo, las herramientas disponibles para su desarrollo no tienen variación y son suficientes para verificar los objetivos que se plantean a continuación.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General:

- El objetivo central del Trabajo de Título, en planificación conjunta con el Departamento de Seguridad Vial del Ministerio de Obras Públicas, es confeccionar una base para la justificación de la inversión en obras de Seguridad Vial, mediante un filtro de decisión que permita medir la conveniencia económica de incorporar obras anexas.

1.2.2. Objetivos Específicos:

- Proponer índices de valoración que permitan establecer un criterio de decisión para la inversión en proyectos de mejoramiento y rehabilitación que requieran de obras en Seguridad Vial.
- Calibrar estos indicadores mediante la evaluación socio-económica de diversos proyectos con estándar similar que además presenten una tasa variable de accidentes en comparación a la media regional. Las rutas escogidas dependen de la disponibilidad de antecedentes.

- Analizar el impacto de la Seguridad Vial en función del comportamiento de los indicadores propuestos, calculados para cada proyecto en particular.
- Confeccionar un filtro de decisión que permita justificar la inversión en proyectos viales de mejoramiento con requerimiento de obras en seguridad vial, en base a la tendencia encontrada de los índices de valoración propuestos.
- Motivar la Inversión en Programas de Mejoramiento y Rehabilitación de Rutas Interurbanas que contemplen entre sus bases la incorporación de obras anexas en Seguridad Vial, sobre la base de comprobar la subvaloración de beneficios en los estudios actuales.

1.3. ALCANCES GENERALES DE LA METODOLOGÍA

El Sistema Nacional de Inversión Pública requiere que los proyectos de inversión se justifiquen mediante una evaluación técnica económica. En este marco se analizan y evalúan los proyectos de vialidad, y en particular los de vialidad interurbana, incluyendo a todos aquellos caminos nacionales, regionales y comunales que unen ciudades, pueblos, localidades rurales o que permiten el acceso a zonas productivas, turísticas, países vecinos, etc.

La evaluación técnica y económica de los proyectos de inversión en infraestructura vial interurbana se realiza, estimando los beneficios de la obra principal, los que son determinados mediante el modelo de transporte disponible HDM-III utilizada hasta hace algunos años, los cuales son valorados a los precios sociales establecidos por MIDEPLAN para cada proceso presupuestario, de manera que se hace posible estandarizar el proceso de evaluación. Aunque existe la versión IV del mismo software, actualmente en uso, se plantea la utilización del HDM-III debido a que requiere un menor nivel de información, y es suficiente para el cumplimiento de los objetivos trazados.

Lo particular del análisis está en considerar los efectos económicos que tiene el mejoramiento de la seguridad vial en la ruta, que no había sido incorporado en la etapa de evaluación de este tipo de proyectos, debido a que hasta los últimos años no existía una herramienta que permitiera su estimación. Para ello se aplica la metodología detallada en el informe: “Análisis y definición de una metodología para la evaluación social de impactos de proyectos sobre la seguridad vial en rutas interurbanas”, contratado por el Ministerio de Planificación a la firma consultora CITRA Ingeniería, que ahora está a disposición del Ministerio de Obras Públicas.



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Trabajo de Título

La brecha que se genere entre las curvas de flujo de caja a nivel social, para la obra vial y la de obras anexas, podría significar que en términos económicos, un proyecto vial incrementa su rentabilidad producto de una evaluación más precisa de sus beneficios.

Es de esperar que el presente trabajo pueda servir de guía para el Ministerio de Planificación, en la evaluación de proyectos futuros.

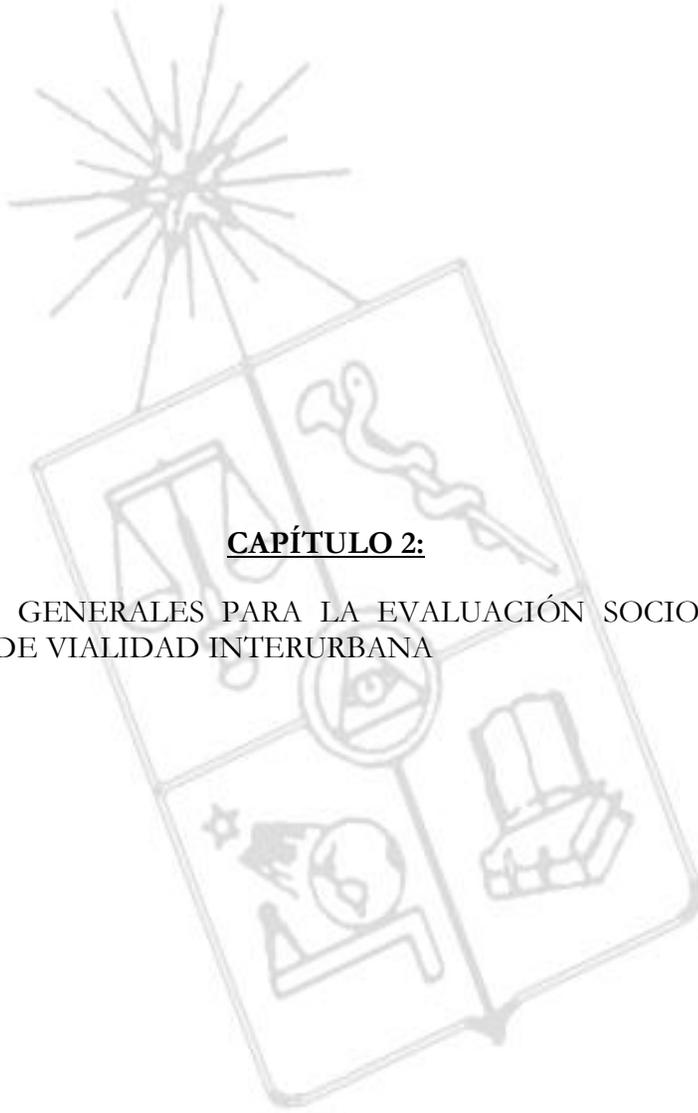
Los Antecedentes generales para la evaluación de proyectos viales se exponen en el capítulo 2, y el detalle de la metodología que será utilizada en el Trabajo de Título se encuentra disponible en los capítulos posteriores del presente informe.



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Trabajo de Título



CAPÍTULO 2:

**ANTECEDENTES GENERALES PARA LA EVALUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA
DE PROYECTOS DE VIALIDAD INTERURBANA**

Análisis de criterios de decisión para la inversión en obras de Seguridad Vial en Proyectos de Mejoramiento y Rehabilitación de rutas interurbanas.

2.1. LA FUNCIÓN DEL CAMINO EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE

La decisión de construir un camino o una carretera responde a la necesidad que tiene una comunidad de trasladarse y transportar carga o personas desde un lugar a otro, mediante el uso de vehículos motorizados y sin ellos, entendiéndose que existe la infraestructura adecuada para el tránsito de todos los agentes involucrados. Esto requiere poner en funcionamiento un sistema de transporte que consta de tres elementos fundamentales: el Vehículo, el camino y los peatones. Cabe destacar, que este último elemento no ha tenido la relevancia suficiente hasta el día de hoy como para ser considerado en el sistema de transportes interurbano, pero forma parte del análisis propuesto en el Trabajo de Título.

El tipo de camino que se construye depende en gran parte del volumen de tránsito previsto, lo que hace variar el nivel de estándar requerido. El Manual de Carreteras dispone para ello, criterios para el diseño de caminos, considerando los requerimientos de tránsito, las condiciones topográficas, capacidad de los conductores, rendimiento de los vehículos entre otros. Una vez en servicio, el camino se encuentra a disposición para el funcionamiento del sistema de transporte, que evidentemente tiene un conjunto de beneficios para la sociedad, pero que serán explicados una vez entendida la clasificación de costos que tiene el uso de un camino.

Precisamente el costo del camino en el sistema de transporte puede dividirse entre el costo relativo al vehículo y el costo asociado al camino. Los costos más importantes asociados al vehículo son: el combustible, los neumáticos, los repuestos, reparaciones, entre otros. Mientras que los costos predominantes atribuibles al camino son: el Costo de construcción o Costo de inversión y el Costo de conservación. Además existe otro aspecto importante asociado tanto a las condiciones del vehículo como del camino, como es el costo por tiempo de traslado entre dos puntos de la ruta, denominado usualmente como Costo de tiempo de viaje. Los costos atribuibles al vehículo se suelen denominar Costos operacionales, y del mismo modo serán identificados durante el desarrollo del Trabajo de Título. Cabe destacar, que además están los Costos de explotación del camino que usualmente son incurridos por la empresa concesionaria y no son considerados en el análisis de impacto social.

Estos costos presentan una variación a lo largo de la vida útil del camino, y están determinados por el llamado “ciclo normal”, que a modo de introducción define el aumento del deterioro de un camino en el tiempo y como consecuentemente y de manera progresiva, se pueden incrementar los costos del sistema de transporte.

2.2. MARCO TEÓRICO DEL CICLO NORMAL DE UN CAMINO

El ciclo “normal” de un camino en su obra principal consta de cuatro etapas descritas a continuación² :

Fase A. Construcción:

Un camino puede estar construido con los mayores estándares de calidad, o bien haber sido diseñado o ejecutado de una manera deficiente, sin embargo, el camino entra en servicio una vez terminada la obra.

Fase B. Deterioro lento y poco visible.

Durante un cierto número de años, el camino va experimentando un desgaste y un proceso de debilitamiento lento, principalmente en la superficie pavimentada, como asimismo, aunque en un menor grado, en el resto de su estructura. Este desgaste se produce por la el estado de cargas generado por el tránsito de vehículos pesados y livianos, aunque también por influencia del clima, del agua lluvia o aguas superficiales, la radiación solar, los cambios de temperatura, entre otros factores. Por otro lado, la velocidad de desgaste depende también de la calidad de la construcción inicial. Para frenar este proceso de desgaste, es necesario aplicar, con cierta frecuencia, diferentes medidas de conservación, principalmente en el pavimento y las obras de drenaje. Además hay que efectuar las operaciones rutinarias de mantenimiento.

Cabe destacar, que comúnmente la conservación durante este período es prácticamente nula, debido a que los recursos asignados son insuficientes, o bien porque los escasos recursos existentes se destinan a la restauración de aquellos caminos que se encuentran en muy mal estado. En los casos en que no se aplican los planes de conservación el período de desgaste puede reducirse notablemente.

Durante toda la fase B el camino se mantiene aparentemente en buen estado y el usuario no percibe el desgaste. A pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas, el camino sigue sirviendo bien a los usuarios y está en condiciones de ser conservado.

Fase C. Deterioro acelerado y colapso.

Después de varios años de uso, el pavimento y otros elementos del camino están cada vez mas “agotados” y el camino entra en una etapa de deterioro acelerado y el camino reduce su capacidad resistente a las solicitaciones de tránsito.

² SCHLIESSLER, Andreas y BULL, Alberto, “Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales”, 1993.



Al inicio de esta fase, la estructura básica del camino aún sigue intacta, las fallas en la superficie son menores, y el usuario tiene la impresión de que el camino aún se mantiene con un nivel de confort aceptable.

Avanzando en la fase C, se observan cada vez más daños en la superficie y comienza a deteriorarse la estructura básica, que no es visible. En otras palabras, cuando el pavimento de un camino presenta graves fallas que se pueden detectar a simple vista, se puede asegurar que la estructura básica del camino también está seriamente dañada.

Estos daños inicialmente son puntuales, pero terminan extendiéndose hasta afectar la mayor parte del camino. Esta fase es relativamente corta, durando entre dos y cinco años. Una vez que el daño de la superficie se generaliza, la destrucción es acelerada.

Los costos de conservación aumentan progresivamente debido que al inicio de la fase C las reparaciones son de carácter superficial, pero en la medida que se postergan el plan de conservación hacia los años posteriores, el simple refuerzo de la superficie ya no es suficiente, ya que deben repararse primero los daños producidos en la estructura básica. Mientras más se atrase la intervención, mayores serán los daños, y mayores también las reparaciones necesarias en la estructura básica del camino. Comúnmente se utiliza el término “Rehabilitación” cuando se alude a la combinación de reparaciones parciales a la estructura básica del camino con el refuerzo de su superficie.

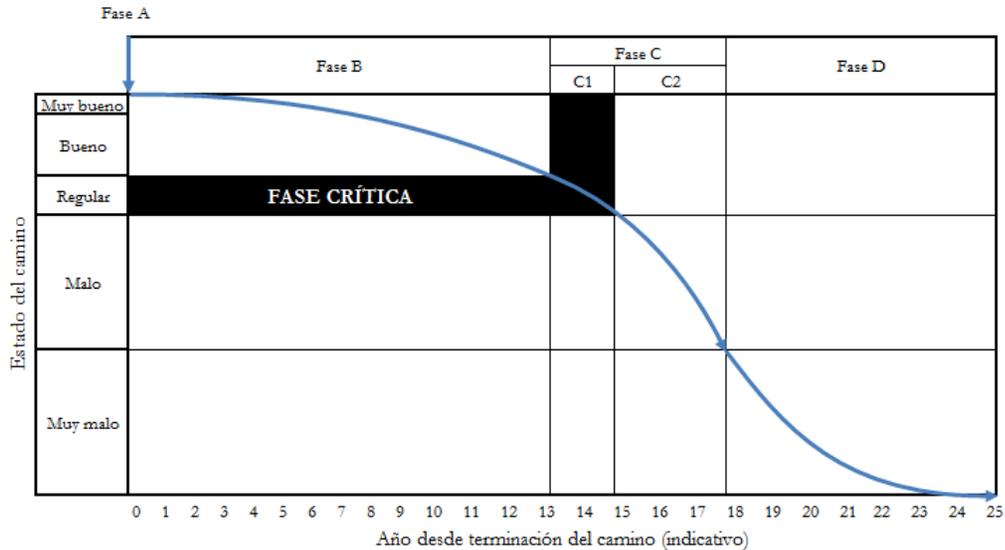
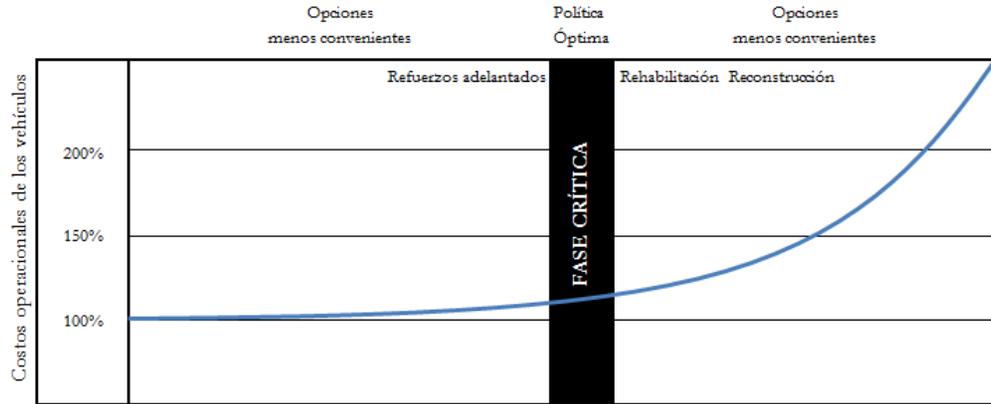
Al no intervenir en algún punto de la fase C, el camino llega al punto de quiebre, es decir, se produce una falla generalizada, tanto del pavimento como de la estructura básica. Esto repercute directamente en el nivel de confort de los usuarios, los que inicialmente pueden circular sin ningún tipo de problema, sin embargo, las molestias crecen paulatinamente debido a las irregularidades del camino: hoyos, grietas, depresiones y deformaciones. Al finalizar la fase C se debe reconstruir completamente el camino.

Fase D. Destrucción total.

La descomposición total del camino constituye la última etapa de su existencia y puede durar varios años. Durante ese período, lo primero que se observa es la pérdida de pavimento. Cada vez que pasa un vehículo pesado se desprenden trozos de capa asfáltica, hasta que finalmente pasa a ser un camino de grava y posteriormente suelo compactado. En esta fase el tránsito de los vehículos se dificulta, la velocidad promedio de circulación baja bruscamente y la capacidad del camino queda reducida a sólo una fracción de la original. Los vehículos comienzan a experimentar daños en los neumáticos, ejes, amortiguadores y en el chasis. Por supuesto, en esta situación se requiere de una reconstrucción total.



Cuadro 2.2.1. Evaluación de los costos operacionales en función del estado de deterioro del camino en el transcurso del tiempo.



Fuente: SCHLIESSLER, Andreas y BULL, Alberto, "Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales", 1993.

El ciclo normal de un camino logra definir el aumento progresivo de los costos operacionales y de conservación, reduce la velocidad operacional y con ello incrementa el costo de los tiempos de viaje. Por lo tanto existe una tendencia al incremento con los períodos de evaluación.

No obstante, la construcción de un camino, independiente del estándar que este tenga, se generan también otros efectos que están asociados a externalidades de la obra principal, como son los accidentes de tránsito, la congestión, o la contaminación. Aspectos que usualmente no son considerados en las evaluaciones, pero que en los últimos años han incrementado sus costos enormemente. Por lo tanto se requiere



incorporar de manera imperiosa en los estudios de factibilidad. A continuación se analizan los antecedentes generales sobre el efecto de una de estas externalidades en los caminos.

2.3. ANTECEDENTES SOBRE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO.

La seguridad vial es la principal preocupación para muchos países. El crecimiento de la red vial, el aumento del parque vehicular y la diversidad del mismo (vehículos más pequeños comparten la vía con vehículos más grandes), el aumento y la diversidad de edad de conductores, las imposiciones económicas en la construcción de las vías, el desarrollo económico de los países y el avance tecnológico, han contribuido a un potencial aumento de accidentes de tránsito.

Desde el punto de vista accidentológico, existen tres elementos principales que contribuyen, individual o conjuntamente, a la ocurrencia de cada accidente de tránsito³: el factor humano, el vehículo, la vía y el entorno. Estos factores, a menudo, se combinan en una cadena de acontecimientos que resultan en un accidente. El mal comportamiento de un conductor puede combinarse con condiciones climáticas adversas, actitudes de otros usuarios de la vía, elementos peligrosos al borde de la vía o un tramo de la vía defectuosa, todo lo cual puede resultar en un accidente con consecuencias fatales.

La interacción entre el usuario y la vía es compleja y la determinación de un factor principal que contribuye a un accidente es a menudo difícil. Estudios internacionales han demostrado que de estos tres factores, que contribuyen a la ocurrencia de los accidentes de tránsito, estadísticamente el 28% corresponde al factor vía y entorno, y a un 24% a la interacción entre el factor vía y entorno con el factor humano. Por lo tanto es de esperar un importante beneficio atribuible a la inversión en seguridad vial.

La inversión en Seguridad Vial corresponde a la incorporación de una serie de dispositivos complementarios a la obra principal, que contribuyen a que la vía sea más segura. Estos elementos usualmente son conocidos como “Obras anexas”, y de este modo seguirán siendo identificadas en el Trabajo de Título.

³ Guía para realizar una Auditoría de Seguridad Vial. Antonio Dourthé Castrillón-Jaime Salamanca Candia-CONASET.



2.4. EFECTOS DE UN PROYECTO DE MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN.

Planificar un proyecto de mejoramiento y rehabilitación corresponde a intervenir un camino usualmente entre la fase B, C (después de la construcción: Fase A) y en algunos casos en la fase final D, y realizar reparaciones ya sea de carácter superficial o en la estructura básica del pavimento. En algunos casos, en que se requiere, se realiza una reconstrucción completa. Se pueden efectuar además, mejoras en el trazado geométrico tanto vertical como horizontal, aumentar el número de pistas o incluso construir una nueva calzada. Los proyectos de mejoramiento y rehabilitación pueden contemplar además la incorporación de una serie de obras anexas orientadas a mitigar el grado de accidentabilidad que presenta el camino actual.

Lo anterior permite establecer un nuevo estado del camino en el que se incluyen todas las mejoras respectivas a las bases administrativas de un proyecto en particular. Se puede hablar de un nuevo camino que desde el momento de su puesta en marcha será caracterizado por un nuevo “ciclo normal” de deterioro, con un nuevo nivel de costos operacionales, de conservación y de tiempos de viaje, por cierto, también incrementables en el tiempo. Sin embargo, el hecho de que este “nuevo camino” tenga un mayor estándar supone que los costos comentados serán menores que antes. También la incorporación de las obras anexas permitirá reducir el nivel de accidentes en la ruta y consecuentemente con ello, el costo de accidentes que presentaba anteriormente.

Con todo lo anterior, cuando se realiza una evaluación social de proyectos, el enfoque fundamental es la conocida “liberación de recursos”, que define a los beneficios que pueda generar un proyecto como el ahorro de costos producido entre ambos estados (sin y con proyecto), es decir, el costo de la situación pre proyecto menos el costo de la situación post proyecto. Esto se diferencia de la evaluación privada en que los beneficios provienen de la venta de activos. En efecto, la evaluación social supone a un beneficio como aquel bien que se deja de gastar en algún ámbito de la sociedad para invertirlo en otras necesidades de importancia.

Por lo tanto, los beneficios que puede generar un proyecto vial están asociados al ahorro de costos operacionales, el ahorro de costos de conservación y el ahorro de costos por tiempos de viajes. Estudio posible de realizar, como se comentó en los alcances de la metodología, con el uso del software HDM-III. Por supuesto, la reducción del costo de accidentes también corresponde a un beneficio incorporable en la evaluación, cuyos alcances se analizan a continuación.

2.5 BENEFICIO SOCIAL DE LAS OBRAS ANEXAS.

La valoración de los beneficios sociales de las obras anexas cuenta con una herramienta desarrollada por la consultora CITRA: “Análisis y definición de una metodología para la evaluación social de impactos de proyectos sobre la seguridad vial en rutas interurbanas”, que a pesar de la alta complejidad de la ocurrencia de accidentes, como fenómeno estadístico presenta características muy particulares, lo que permite a este modelo tener aspectos predictivos que sumado a la experiencia Internacional hacen de esta metodología una herramienta potente para la valoración del Beneficio Social por la reducción de la tasa de Accidentes de Tránsito u otros impactos derivados de estas medidas de mejoramiento que se quieran utilizar en estudios posteriores.

En la evaluación de la variación del Costo Social de accidentes de tránsito entre la situación con y sin proyecto (ver página anterior), el factor relevante es la reducción del índice de accidentabilidad proporcionalmente a los detalles de incorporación de elementos de seguridad considerados en el proyecto. Para lo cual es fundamental conocer el proyecto de mejoramiento con un mínimo de detalle, como para determinar cuáles son las obras anexas específicamente incorporadas.

Los modelos existentes para tales efectos relacionan los accidentes con las características físicas y operativas del camino, lo que permite estimar factores de reducción de accidentes en la ruta, basados en estudios estadísticos de comparación de tasas de accidentabilidad para distintas combinaciones de tipo de vía, ubicación geográfica y tipo de accidente obtenidas con la información disponible a nivel nacional.

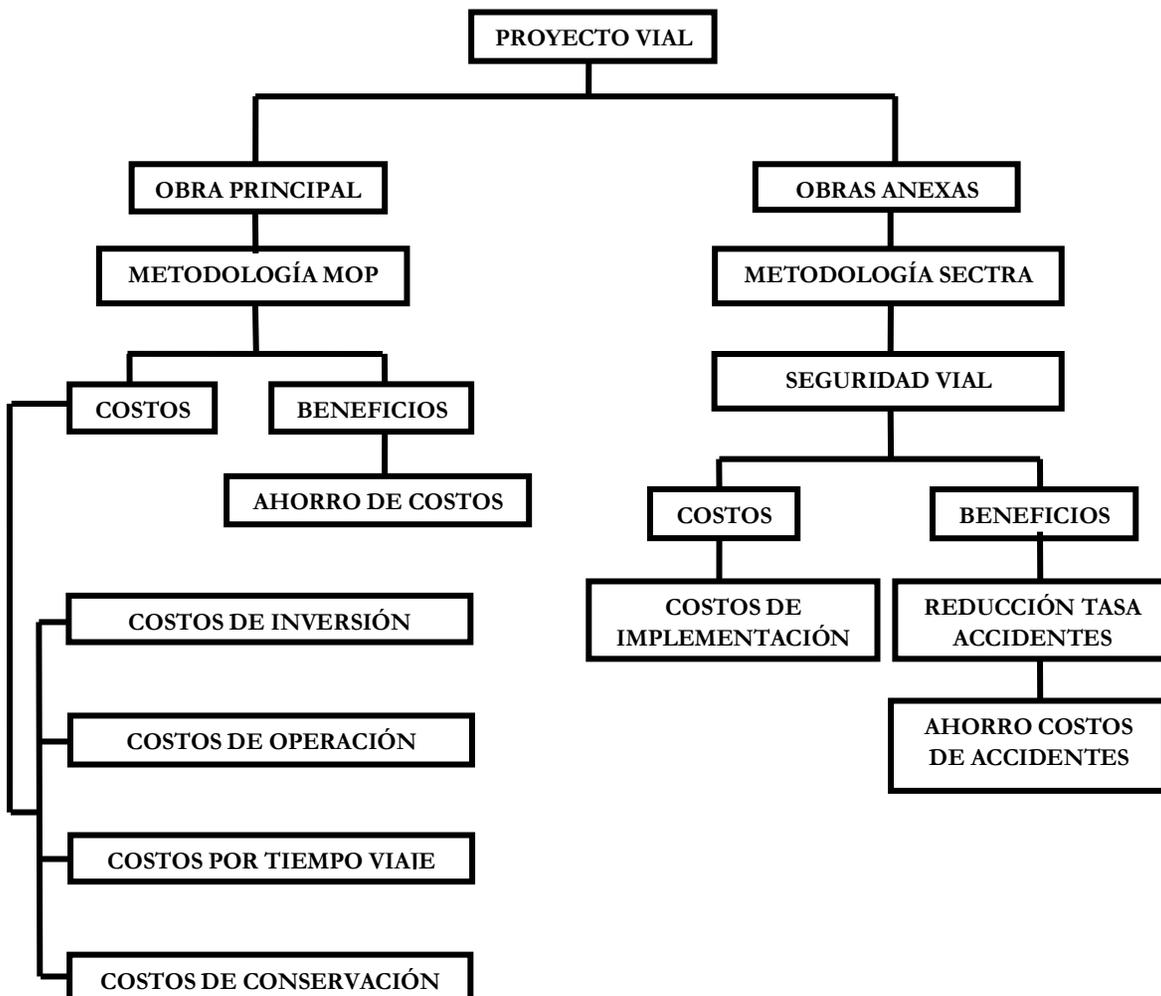
El factor de reducción varía en función de la medida de seguridad que se desee implementar, por lo tanto no es un valor único. En la Metodología se recomienda utilizar el valor más alto válido para el tramo, y de manera anexa en el presente Trabajo de Título se propone estimar un valor equivalente a la suma ponderada entre el factor de reducción por el largo de ruta en que se incorpore dividido por el largo total del camino, de modo de hacer representativo el aporte de todas las obras anexas que sean incorporadas en el proyecto.



Luego, el beneficio de las obras anexas proviene del ahorro de costos de accidentes, reducción que se genera a partir de una nueva tasa de accidentes menor que la tasa anterior a la implementación del proyecto. Considerando un valor unitario para el costo social de accidentes constante. El detalle de la metodología y de los antecedentes para el cálculo del costo social unitario de accidentes se presenta en el próximo capítulo con la metodología del Trabajo de Título.

Finalmente, conocidos todos los aspectos económicos involucrados en un camino y los efectos posteriores a la ejecución de un proyecto de mejoramiento y rehabilitación, se expone el siguiente esquema que representa las dos ramas fundamentales que componen la evaluación socio-económica de un proyecto vial. A la izquierda la metodología vigente empleada por el Ministerio de Obras Públicas, y a la derecha el aporte de las obras anexas que se orienta evaluar en el Trabajo de Título.

Cuadro 2.5.1. Aspectos Relevantes en un Estudio de Preinversión de un Proyecto Vial.

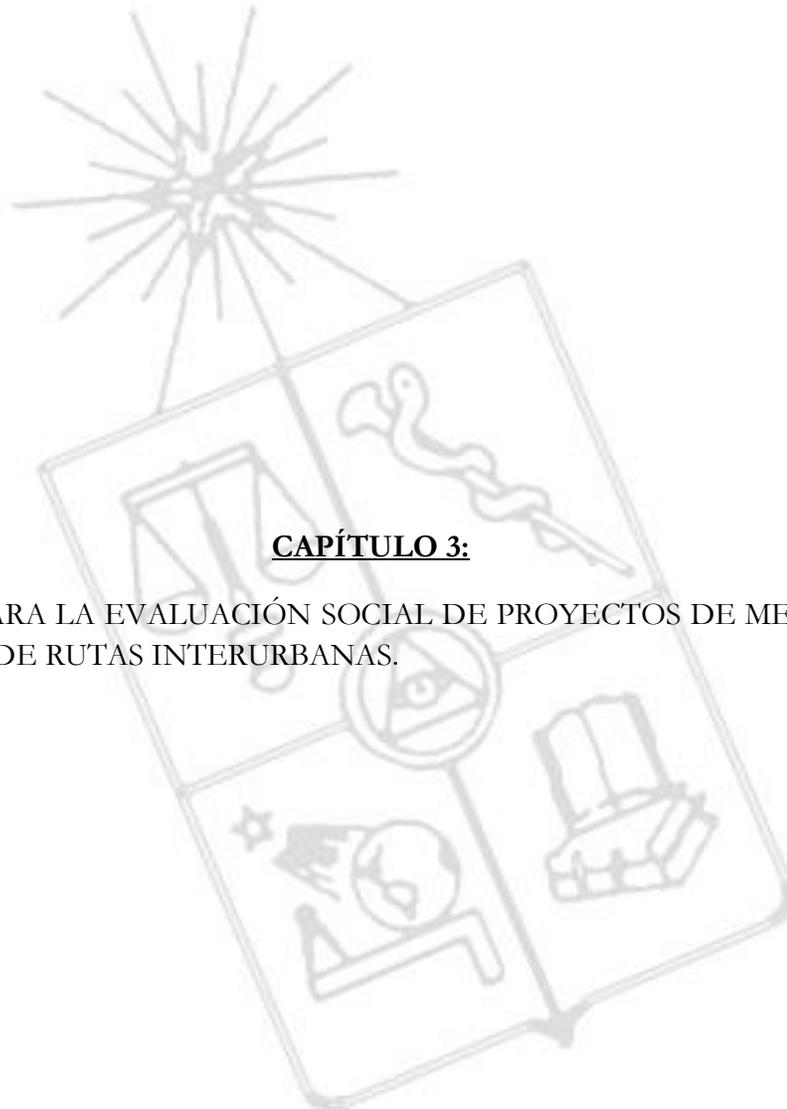




fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Trabajo de Título



CAPÍTULO 3:

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS DE MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE RUTAS INTERURBANAS.



3.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA OBRA PRINCIPAL.

La evaluación económica de los proyectos en definitiva, consiste en un análisis diferencial entre una situación de referencia sin proyecto y una situación con proyecto. Ambas se proyectan de manera independiente durante todo el período de estudio. La metodología del Trabajo de Título comprende, en ambas situaciones, la valoración de costos durante un período de evaluación, los cuales se describen en detalle a continuación⁴:

3.1.1. Costos de operación de vehículos

La utilización de un vehículo implica una serie de costos que dependen de las características del mismo y del camino a utilizar. Sobre la base que el proyecto en estudio va a generar una mejora del camino, repercutirá en una reducción de los costos operacionales de los vehículos, lo que visto en un marco de evaluación social de proyectos corresponde a un beneficio. Los factores relevantes en este análisis son:

- **Costo de combustible:** La valoración de los costos de combustible tiene relación con el ahorro de costos de los usuarios. La metodología utilizada por HDM vincula el consumo de combustible con la velocidad de operación de los vehículos, clasificados según su peso; livianos, camiones de dos ejes, camiones con más de dos ejes y buses. Lo que permite evaluar los flujos de costos en función del tránsito y tipo de vehículo.
- **Costo de neumáticos:** Corresponde a una variable directamente relacionada con el precio actualizado de un neumático, con el número de neumáticos utilizados según el tipo de vehículo y con la vida útil estimada de un juego de neumáticos en kilómetros.
- **Costo de lubricantes:** El rendimiento por litro varía con el consumo total de litros por vehículo y la cantidad de kilómetros entre cambio de aceite.

3.1.2. Costos del tiempo de viaje

El tiempo de viaje es inversamente proporcional a la velocidad operacional, determinada en función del flujo y las condiciones propias del camino. Una ruta de mejor estándar en comparación a una situación inicial repercute en una reducción de los tiempos de viaje. La cuantificación de este tiempo se basa en la variación del costo oportunidad de los usuarios, valorado en base a precios de tiempo de los usuarios recomendados por MIDEPLAN.

⁴ Memorias de primer Congreso de Ingeniería Vial. Presentación Costos de Transporte.

3.1.3. Costos de los accidentes de tránsito

Pérdida de vidas humanas, lesiones a los usuarios, pérdida de productividad de los afectados, daños a vehículos y otros objetos de la carretera, entre otros. Efectos que no cuantifica HDM pero que pueden ser evaluados mediante la “Metodología SECTRA para la evaluación de impactos sociales en proyectos de vialidad interurbana”.

3.1.4. Costos de conservación

Costo de las actividades destinadas a preservar a largo plazo la condición de los caminos y el servicio que prestan. Uno de los objetivos primordiales de la conservación, es evitar al máximo posible, la pérdida innecesaria de capital ya invertido, mediante la protección física de la estructura básica y de la superficie del camino. La conservación procura, específicamente, evitar la destrucción de partes de la estructura de los caminos y la necesidad de una posterior rehabilitación o reconstrucción. La conservación incluye actividades tales como el mantenimiento (rutinario y periódico) y el refuerzo de la superficie, incluido el agregado de capas adicionales sobre el camino, sin alterar la estructura existente.

Los costos de usuarios de carreteras en HDM se calculan prediciendo las cantidades físicas de consumo de recursos y multiplicando esas cantidades por los correspondientes costos unitarios especificados por los usuarios. Es necesario tener certeza de que las cantidades de recursos de vehículos previstas estén en línea con la gama de valores observados en el área de aplicación.

Los beneficios económicos de las inversiones en carreteras se determinan comparando los flujos totales de costos para el proyecto de construcción con un caso base (sin proyecto) que normalmente representa el estándar mínimo de conservación rutinario. Todos los costos futuros se descuentan al año base especificado. Para hacer estas comparaciones, se necesitan especificaciones detalladas del programa de inversión, estándares de diseño y alternativas de conservación, junto con costos unitarios, volúmenes de tránsito previstos y condiciones medioambientales.

Luego se comparan los costos correspondientes y se estiman anualmente:

- Los costos adicionales: Inversión necesaria para la puesta en marcha de la obra.
- Los beneficios: ahorros de costos de operación vehicular, de conservación y de tiempo, beneficios relacionados con el tránsito generado.



El análisis económico se realiza mediante la utilización del Software del Banco Mundial, HDM (Versión 3), que se describe en el punto siguiente.

3.2. ANTECEDENTES GENERALES HIGHWAY DEVELOPMENT AND MANAGEMENT (HDM)-VERSION III.

El modelo de estándares de conservación y diseño de carreteras HDM, desarrollado por el Banco Mundial, se viene usando desde hace más de dos décadas para combinar la evaluación técnica y económica de proyectos, preparar programas de inversión y analizar estrategias de redes de carreteras. A pesar de que actualmente se está utilizando la versión IV de este software, en el trabajo de título se utiliza la versión III debido a que no exige un nivel de precisión en los datos de entrada tan alto como la versión IV, en virtud del tiempo necesario para evaluar varios proyectos y tener resultados relativamente generales que no exigen tanta precisión.

El software consiste básicamente en dos módulos:

- El módulo técnico simula la evolución de la condición de la carretera con el tiempo, bajo los efectos del tránsito vehicular, el clima, etc. Y las necesidades de conservación.
- El módulo de costos de transporte calcula los costos de operación vehicular, la velocidad y los tiempos de recorrido, en relación con la condición de la carretera y el nivel de tránsito (congestión).
- Existe un tercer módulo de análisis económico que no será utilizado directamente durante el desarrollo, debido a que se propone realizar un enfoque diferente, que permita involucrar los efectos de la seguridad vial.

3.2.1. Datos de Entrada

El software HDM requiere los siguientes datos de entrada:

- Datos comunes a todos los proyectos: Definición y costos unitarios de las operaciones de mantenimiento, definición de los tipos de vehículos y costos unitarios. Para ello se encuentra disponible la “base de datos a precios sociales de 2008” del Ministerio de Planificación, en archivo Access compatible con HDM.
- Datos específicos de los caminos existentes: Descripción general (Geométrica), descripción de su estructura de pavimento y de su condición, tránsito.



- Datos específicos de los proyectos: Descripción general (Geométrica), descripción de su estructura de pavimento.

Todos los datos se proporcionan a nivel de sub-tramo, el elemento homogéneo de la red. Los datos comunes se describen a continuación. Los datos específicos resultan del inventario vial y de la elaboración de los proyectos, o de las Bases Administrativas del proyecto.

La información relativa a las caminos existentes son:

- Geometría: Longitud, número de pistas, anchos de calzada y bermas, terreno (pendiente, diseño de curvaturas horizontales y verticales).
- Pavimento: Estructura por capa, espesores, historial de construcción y mantenimiento.
- Condición: Regularidad superficial (IRI).
- Medio ambiente: Zona climática, altitud, entorno (rural, semi-urbano, urbano).
- Tránsito: Volumen por tipo de vehículo (TMDA), año cero y crecimiento futuro.

La información relativa al proyecto es:

- Geometría: Longitud, número de pistas, anchos de calzada y de bermas.
- Pavimento: Estructura por capa, espesores.
- Condición inicial.
- Tránsito: Volumen generado por tipo de vehículo (TMDA), crecimiento futuro.

3.2.2. Marco analítico de HDM

El marco analítico de HDM se basa en el análisis del ciclo de vida del pavimento. Este se aplica para predecir el deterioro de la carretera, los efectos de las obras de reparación y los efectos para los usuarios del camino, lo que repercute en efectos socio-económicos evaluables, en la medida que se conozcan los costos sociales involucrados en el cambio de estado de un camino. Precisamente HDM al reconocer la base de datos a precios sociales del 2008, en el que se incluyen los precios unitarios de los insumos involucrados en el cálculo de los costos operacionales, costos de tiempo de viaje y costos de conservación, y en función del grado de deterioro anual del camino, está en condiciones de proyectar flujos de costo para los tres ítems comentados por



cada año del período de evaluación considerado. A continuación se exponen los precios unitarios básicos utilizados en la base de datos a precios sociales del año 2008:

Tabla 3.2.2.1. Precios Sociales de Junio de 2008.

Tipo de Vehículos	Combustible	Lubricante	Neumáticos	Vehículo nuevo	Hora mantención	Tiempo de viaje
	[\$/litro]	[\$/litro]	[\$/unidad]	[Miles \$]	[\$/hora]	[\$/hora]
Automóviles	317,6	3890	25683	9192	2793	6335
Camionetas	317,6	3890	50744	10839	2793	8628
Camiones 2e	368,9	1835	78587	21968	2793	4292
Camiones+2e	395,5	1835	155694	49704	2793	4292
Buses	395,5	1835	155694	79612	2793	35530

Fuente: Base de datos, Ministerio de Planificación.

Cabe destacar, que por su aplicabilidad en caminos interurbanos, HDM desarrolla el modelo bajo la hipótesis de que no existe congestión. De no asumir este supuesto, la variación de costos asociados a los tiempos de viaje no es una combinación lineal de la variación del TMDA de la ruta para todos los modos de transporte, luego HDM no sería aplicable.

Finalmente, el nivel de información requerido para el estudio de pre factibilidad es bastante general, debido a que no está orientado a elaborar un análisis presupuestario, más bien evalúa los efectos globales para los usuarios, sin embargo, HDM es una herramienta bastante útil en el marco de los objetivos trazados en el Trabajo de Título. Sin embargo, debido a tales niveles de aproximación, se debe establecer un rango de valores en el que es posible aceptar los resultados de la evaluación económica, el cual depende del análisis de sensibilidad que se realice, y que permita calibrar el modelo evaluado en HDM.

3.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS OBRAS ANEXAS

3.3.1. Cálculo del costo social de los accidentes de tránsito:

La estimación del costo social unitario de los accidentes de tránsito, representa un aspecto de vital importancia en la evaluación de proyectos viales, ya que permiten cuantificar el impacto de un paquete de medidas orientadas al aumento en la seguridad vial de los usuarios del camino, sobre el supuesto de que se reducirá el número de accidentes y consecuentemente el número de víctimas tanto lesionadas como fatales. Esta nueva situación genera un costo social menor que se traduce en un beneficio por reducción de la tasa de accidentabilidad.

El costo social viene de un análisis de costos involucrados en un accidente de tránsito como; los daños a vehículos motorizados, costo de tratamientos hospitalarios para los lesionados, costos por pérdida de productividad asociada a la ausencia laboral de los lesionados, costos administrativos vinculados al apoyo policial y agentes del poder judicial, y finalmente los costos de capital humano por pérdida de productividad futura en el caso de víctimas fallecidas. Antecedentes disponibles en el informe “Análisis y definición de una metodología para la evaluación social de impactos de proyectos sobre la seguridad vial en rutas interurbanas, SECTRA 2007”. Costos que son llevados a valor presente mediante la ponderación por la variación del IPC, y actualizados mediante la aplicación del factor social de la divisa y el factor de corrección para la mano de obra correspondientes al año en curso.

Se obtiene el valor del costo social unitario de los accidentes de tránsito y se pondera por la tasa de accidentes actual presente en la ruta. Se propone utilizar una ponderación de acuerdo al historial de la tasa de accidentes anual de los últimos cuatro años en la ruta de evaluación.

El costo social expuesto en la metodología SECTRA utiliza precios sociales de 2006, por lo que se debe realizar una corrección monetaria según la variación del IPC desde junio de 2006 hasta junio de 2008. El año de actualización se fija para ser consistente con los precios sociales de la base de datos utilizada por HDM, también correspondiente a valores de 2008.

Tabla 3.3.1.1. Costo social unitario según la tipología de accidentes.

Tipo de Accidente	COSTO SOCIAL*		COSTO SOCIAL**		
	Vehículos Livianos	Vehículos Pesados	Vehículos Livianos	Vehículos Pesados	
	(\$/Veh)	(\$/Veh)	(\$/Veh)	(\$/Veh)	
Atropello	374.478	186.093	427.098	212.242	
Choque	Frontal	1.373.776	3.826.224	1.566.812	4.363.866
	Lateral	857.639	1.604.559	978.151	1.830.024
Total Choque	1.127.996	2.715.391	1.286.497	3.096.945	
Colisión	Frontal	1.184.101	4.579.298	1.350.485	5.222.759
	Cruzada	1.070.281	6.336.037	1.220.672	7.226.347
	Posterior	1.249.135	3.691.286	1.424.657	4.209.968
	Lateral	1.219.453	1.502.884	1.390.805	1.714.063
Total Colisión	1.223.939	3.713.551	1.395.921	4.235.362	
Volcadura	3.354.521	7.089.179	3.825.882	8.085.316	
Solo Daños	152.974	-	176.278	-	

*Precios Junio 2006 **Precios Junio 2008

Fuente: “Análisis y definición de una metodología para la evaluación social de impactos de proyectos sobre la seguridad vial en rutas interurbanas, SECTRA 2007”

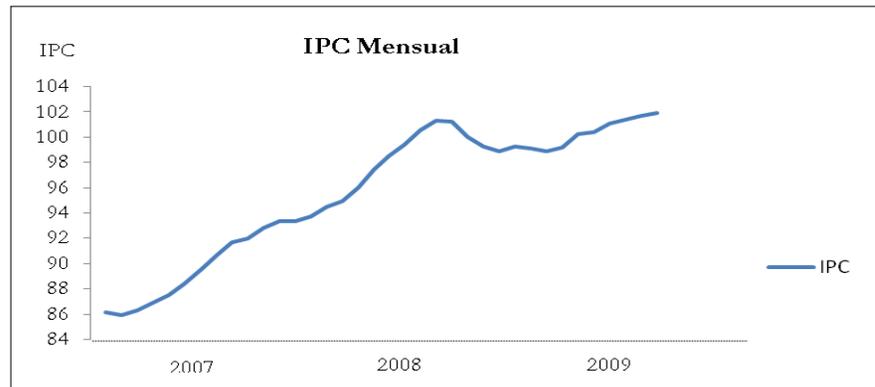
Tabla 3.3.1.2. Costo social según tipo de lesión.

Gravedad	Tratamiento Lesionados	Perdida de Productividad	Gastos Administrativos	Capital Humano	COSTO SOCIAL*	COSTO SOCIAL**
Leve	20.733	68.022	397.534	-	393.894	449.242
M. Grave	64.364	193.972	414.681	-	545.144	621.745
Grave	139.471	1.509.295	805.335	-	1.987.822	2.267.141
Fatal	-	290.130	1.436.032	62.721.921	52.202.947	59.538.256
S. Daño	-	-	391.364	-	317.005	361.549

*Precios Jun 2006 **Precios Jun 2008

Fuente: “Análisis y definición de una metodología para la evaluación social de impactos de proyectos sobre la seguridad vial en rutas interurbanas, SECTRA 2007”

Cuadro 3.3.1.1. Variación mensual del IPC



$$\text{Factor IPC} = \text{IPC Junio 2008} / \text{IPC Junio 2006} = 1,14$$

Fuente: Base de datos estadísticos Banco Central- si2.bcentral.cl/Basededatoseconomicos

3.3.2. Metodología de la Secretaría del Transporte.

Uno de los trabajos más importantes en la materia es el que ha desarrollado Ezra Hauer (2001). Hauer desarrolló un enfoque estadístico que es el que se utiliza actualmente en EE.UU. a nivel gubernamental para el análisis de seguridad vial, y ha sido citado como referencia en numerosos otros trabajos.

El método desarrollado por Hauer involucró en su confección el uso de información de accidentes y de las vías, de manera de disponer de mayor número de datos para secciones tipo de caminos. Con esta información estimó modelos que relacionaban los accidentes con las características de los caminos. Luego, estos modelos fueron combinados con datos observados para obtener una estimación más confiable de los accidentes esperados en un cierto tramo del camino.

El método desarrollado por Hauer se ha denominado “bayesiano empírico”, el cual se va a implementar en el presente Trabajo de Título, para lo que se requiere tan solo el detalle de los factores de reducción desprendidos por Hauer en su metodología, sin embargo, los alcances del trabajo realizado por dicho autor se encuentra en el informe “Análisis y definición de una metodología para la evaluación social de impactos de proyectos sobre la seguridad vial en rutas interurbanas, SECTRA 2007”.

A continuación se muestran los factores de reducción de la Tasa de accidentes según el tipo de obra anexa que se proyecta implementar, Cabe destacar que la calibración de este modelo tiene efectos distorsionadores que pueden sesgar la veracidad de la información, sin embargo, sigue siendo una herramienta potente para la valoración de beneficios de obras en Seguridad Vial.

3.3.2.1. Barreras de contención

3.3.2.1.1. Tratamiento: Implementación de barreras en mediana de autopista de 2 o más pistas por calzada

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Fallecidos	-43	(-53,-31)
Lesionados	-30	(-36,-23)
Tasa de accidentes	24	(+21,+27)

3.3.2.2. Amortiguadores de impacto

3.3.2.2.1. Tratamiento: Implementación de amortiguadores de impacto en puntos de riesgo

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Con fallecidos en choque con objeto rígido	-69	(-83,-46)
Solo con lesionados en choque con objeto rígido	-69	(-75,-62)
Accidentes sin lesionados	-46	(-63,-23)

3.3.2.3. Habilitación de pista para vehículos lentos (Adelantamientos)

3.3.2.3.1. Tratamiento: Implementación de pista de adelantamiento a un lado de la vía

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-18	(-27,-8)
Accidentes sin lesionados	-20	(-26,-13)

3.3.2.3.2. Tratamiento: Implementación de pista de adelantamiento a ambos lados de la vía

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-40	(-55,-25)
Accidentes sin lesionados*	-6	(-37,+42)

3.3.2.4. Ensanche e implementación de bermas

3.3.2.4.1. Tratamiento: Implementación de bermas

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-8	(-16,+1)
Todos los accidentes	-6	(-9,-3)

3.3.2.4.2. Tratamiento: Aumento del ancho de berma en aproximadamente 0,3 m

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-21	(-32,-9)

3.3.2.4.3. Tratamiento: Aumento del ancho de berma en aproximadamente 1,0 m

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	2	(-3,+7)

3.3.2.4.4. Tratamiento: Disminución ancho de pistas combinado con aumento ancho de berma

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-7	(-10,-2)

3.3.2.4.5. Tratamiento: Aumento ancho de pistas combinado con disminución ancho de berma

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-5	(-16,+7)
Accidentes sin lesionados	-8	(-17,+3)



3.3.2.5. Límites de velocidad

3.3.2.5.1. Tratamiento: Aumento del límite de velocidad en la vía

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes relacionados con viraje a la izquierda	-58	(-64,-50)

3.3.2.6. Dispositivos para el control de velocidad

3.3.2.6.1. Tratamiento: Bandas alertadoras asociadas a intersecciones

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-33	(-40,-25)
Accidentes sin lesionados	-25	(-45,-5)
Todos los accidentes	-20	(-25,-5)

3.3.2.7. Reducción de pendiente de los taludes y mejoramientos de área despejada

3.3.2.7.1. Tratamiento: Disminución de pendiente en área despejada, desde 1:3 a 1:4

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-42	(-46,-38)
Accidentes sin lesionados	-29	(-33,-25)

3.3.2.7.2. Tratamiento: Disminución de pendiente en área despejada, desde 1:4 a 1:6

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-22	(-26,-18)
Accidentes sin lesionados	-24	(-26,-21)

3.3.2.7.3. Tratamiento: Eliminación de obstáculos desde 1m a 5m de la calzada

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes	-22	(-24,-20)

3.3.2.7.4. Tratamiento: Eliminación de obstáculos desde 5m a 9m de la calzada

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes	-44	(-46,-43)

3.3.2.8. Realineamiento vertical y horizontal y mejoras en distancia de visibilidad.

3.3.2.8.1. Tratamiento: Aumento de radio de curvatura desde menos de 200 m al rango 200-400 m

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes	-50	(-55,-45)

3.3.2.8.2. Tratamiento: Aumento de radio de curvatura desde el rango 200-400 m al rango 400-600 m

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes	-33	(-36,-29)

3.3.2.8.3. Tratamiento: Aumento de radio de curvatura desde el rango 400-600 m al rango 600-1000 m

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes	-50	(-55,-45)

3.3.2.8.4. Tratamiento: Aumento de radio de curvatura desde el rango 600-1000 m al rango 1000-2000 m

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes	-18	(-22,-14)

3.3.2.8.5. Tratamiento: Aumento de radio de curvatura desde el rango 1000-2000 m a mas de 2000 m

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes	-12	(-16,-8)

3.3.2.8.6. Tratamiento: Aumento de radio de curvatura desde mas de 2000 m a otro mayor finito

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes	0	(-5,+5)

3.3.2.8.7. Tratamiento: Aumento de radio de curvatura desde mas de 1000 m a una recta

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes	10	(+4,+16)

3.3.2.9. Pendientes

3.3.2.9.1. Tratamiento: Reducción de la pendiente desde más de 7% al rango 5%-7%

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con motorizados	-20	(-38,+1)

3.3.2.9.2. Tratamiento: Reducción de la pendiente desde el rango 5%-7% al rango 3%-5%

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con motorizados	-10	(-20,0)

3.3.2.9.3. Tratamiento: Reducción de la pendiente desde el rango 3%-5% al rango 2%-3%

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con motorizados	-10	(-15,-5)



3.3.2.9.4. Tratamiento: Reducción de la pendiente desde el rango 2%-3% al rango 1%-2%

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con motorizados	-7	(-12,-1)

3.3.2.9.5. Tratamiento: Reducción de la pendiente desde el rango 1%-2% a menos de 1%

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con motorizados	-2	(-8,+6)

3.3.2.10. Distancia de visibilidad

3.3.2.10.1. Tratamiento: Remoción de obstáculos visuales desde los costados de la vía

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes	-20	(-38,+6)

3.3.2.11. Reconstrucción, rehabilitación y recarpeteo de vías

3.3.2.11.1. Tratamiento: Reconstrucción, rehabilitación y recarpeteo de vías rurales, llevándolas a estándar de diseño cuando dichos estándares están deteriorados

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-20	(-25,-15)
Accidentes sin lesionados	-19	(-12,+3)

3.3.2.12. Instalación de iluminación

3.3.2.12.1. Tratamiento: Iluminación de la vía

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con fallecidos en condiciones de mala visibilidad o noche	-64	(-74,-50)
Accidentes solo con lesionados en condiciones de mala visibilidad o noche	-28	(-32, -25)
Accidentes sin lesionados condiciones de mala visibilidad o noche	-17	(-21, -13)

3.3.2.12.2. Tratamiento: Aumento del nivel de iluminación en la vía al doble del existente previamente

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados en condiciones de mala visibilidad o noche	-8	(-20,+6)
Accidentes sin lesionados condiciones de mala visibilidad o noche	-1	(-4, +3)

3.3.2.12.3. Tratamiento: Aumento del nivel de iluminación en la vía de 2 a 5 veces el existente previamente

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados en condiciones de mala visibilidad o noche	-13	(-17,-9)
Accidentes sin lesionados condiciones de mala visibilidad o noche	-9	(-14, -4)



3.3.2.12.4. Tratamiento: Aumento del nivel de iluminación en la vía desde 5 veces o mas al existente previamente

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con fallecidos en condiciones de mala visibilidad o noche	-50	(-79,+15)
Accidentes solo con lesionados en condiciones de mala visibilidad o noche	-32	(-39, -25)
Accidentes sin lesionados condiciones de mala visibilidad o noche	-47	(-62, -25)

3.3.2.13. Instalación de demarcación

3.3.2.13.1. Tratamiento: Combinación de demarcación de borde de calzada y delineadores en curvas

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-19	(-46,+23)

3.3.2.13.2. Tratamiento: Combinación de demarcación de líneas de borde y ejes central en curvas

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-24	(-35,-11)

3.3.2.13.3. Tratamiento: Combinación de demarcación de líneas de borde, de eje central y delineadores en curvas

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-45	(-56,-32)

3.3.2.14. Barreras y sistemas de control en cruces ferroviarios

3.3.2.14.1. Tratamiento: Implementación de señales de advertencia y cruz de San Andrés en cruces no protegidos

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes en cruces ferroviarios a nivel	-25	(-45,-5)

3.3.2.14.2. Tratamiento: Implementación de luces y sonidos de advertencia en cruces que cuentan con señales y Cruz de San Andrés

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes en cruces ferroviarios a nivel	-50	(-55,-45)

3.3.2.14.3. Tratamiento: Implementación de barreras en cruces con luces y sonidos de advertencia

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes en cruces ferroviarios a nivel	-45	(-55,-35)

3.3.2.14.4. Tratamiento: Implementación de barreras en cruces que cuentan con sólo señales verticales de advertencia

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Todos los accidentes en cruces ferroviarios a nivel	-67	(-75,-55)



3.2.2.14.5. Tratamientos en cruces ferroviarios

Tratamiento en cruces ferroviarios	Tipos de Accidente tratado	Porcentaje reducción
Implementar paso a desnivel	Impacto con tren	-100
	Impacto con elementos de la vía	-50
Implementar barreras	Impacto con tren	-80
	Impacto con elementos de la vía	25
Luces intermitentes	Impacto con tren	-65
	Impacto con elementos de la vía	25
Mejoramiento alineamiento horizontal	Impacto con tren	-35
	Impacto con elementos de la vía	-35
Mejoramiento alineamiento vertical	Impacto con tren	-45
	Impacto con elementos de la vía	-35
Mejoramiento alineamiento vertical y horizontal	Impacto con tren	-60
	Impacto con elementos de la vía	-70
Mejorar delineación	Impacto con tren	-25
	Impacto con elementos de la vía	-25
iluminación	Impacto con tren	-15
	Impacto con elementos de la vía	-25

3.3.2.15. Otros tratamientos

3.3.2.15.1. Tratamiento: Implementación de pistas para ciclistas

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes de peatones	-5	(-12,-3)
Accidentes de bicicletas	-2	(-7,+4)
Accidentes con vehículos	-5	(-9,-2)
Todos los accidentes	-4	(-7,-1)

3.3.2.15.2. Tratamiento: Impacto de By-pass en accidentabilidad

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-25	(-33,-16)
Accidentes sin lesionados	-27	(-38,-13)

3.3.2.15.3. Tratamiento: Aumento del ancho de la vía desde sub estándar a anchos dentro de las normas de diseño en vías rurales

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-5	(-7,-3)
Accidentes sin lesionados	-13	(-22,-3)

3.3.2.15.4. Tratamiento: Implementación de mediana en vías de más de dos pistas rurales

Tipo de accidente Tratado	Porcentaje de Reducción	
	Estimación	Intervalo de confianza del 95%
Accidentes con lesionados	-12	(-15,-8)
Accidentes sin lesionados	-18	(-21,-14)

Fuente: “Desarrollo de una metodología de valoración de beneficios de obras anexas de proyectos de vialidad interurbana, Informe SECTRA 2007”

Cuando son identificadas todas las obras anexas de un proyecto, se debe realizar una selección de aquellas obras más relevantes, o realizar aproximaciones responsables para aplicar los factores de reducción. Por supuesto, no están considerados todos los casos posibles, sin embargo, representa una guía bastante eficiente si se requiere hacer un estudio de prefactibilidad de un proyecto vial considerando aspectos globales.

Uno de los aspectos importantes a tener en cuenta al utilizar los factores de reducción, es que estarán siempre asociados a alguna obra anexa, las que pueden ser implementadas en diversos tramos del camino. Cada tramo puede tener una, varias o ninguna obra de Seguridad Vial, por lo tanto no es directo el uso de estos factores. Algunas obras tienen un peso mayor en la vía debido a su mayor coeficiente de reducción, sin embargo, si el tramo en el que han sido implementadas es pequeño comparado con el largo total de la ruta, su peso equivalente en Seguridad Vial ya no lo es tanto. Es por esta razón que se propone en el Trabajo de Título segregar el camino en tantos tramos como sea conveniente, en los cuales se identifique el coeficiente mínimo



de reducción para todos los “Tipos de accidente tratados” (Lesionados, fallecidos, tasa de accidentes, etc.). Posteriormente se obtiene un coeficiente equivalente a la ruta como la sumatoria de la tasa de reducción por el largo del tramo respectivo, dividido por la suma total de la ruta. En caso de existir una misma obra anexa implementada en toda la ruta, los coeficientes obtenidos se promedian con los valores encontrados anteriormente. Una vez obtenida la tasa de accidente para ambas situaciones (pre y post proyecto) se clasifica el número de accidentes según su tipo, de acuerdo a su porcentaje estadístico correspondiente, como lo muestra la tabla siguiente:

Tabla 3.3.2.16. Distribución porcentual de accidentes según tipología.

Tipo de Accidente		N° de Accidentes	Distribución
Atropello		27	8,1%
Choque	Frontal	42	12,6%
	Lateral	40	12,0%
Total Choque		82	24,6%
Colisión	Frontal	16	4,8%
	Cruzada	9	2,7%
	Posterior	46	13,8%
	Lateral	27	8,1%
Total Colisión		98	29,3%
Volcadura		76	22,8%
Solo Daños		51	15,3%
Total		334	100,0%

Fuente: Estudio estadístico detallado en: “Desarrollo de una metodología de valoración de beneficios de obras anexas de proyectos de vialidad interurbana, Informe SECTRA 2007”

Del mismo modo, se clasifica el número de lesionados de acuerdo al porcentaje estadístico correspondiente:

Tabla 3.3.2.17. Distribución porcentual de accidentes según nivel de gravedad de los lesionados.

Gravedad lesión	N° Pacientes	Distribución Porcentual
Leve	1065	78,1%
Menos Grave	138	10,1%
Grave	161	11,8%
Total	1364	100,0%

Fuente: Estudio estadístico detallado en: “Desarrollo de una metodología de valoración de beneficios de obras anexas de proyectos de vialidad interurbana, Informe SECTRA 2007”.



Finalmente, tener la cantidad de accidentes clasificados por tipología, el número de lesionados por nivel de gravedad, mas el número de fallecidos es posible determinar el costo social de accidentes de tránsito.

Cabe señalar, que el costo social de accidentes es una combinación lineal del número de accidentes, lesionados y fallecidos, por lo tanto la clasificación de estos parámetros, ante la aplicación de un porcentaje de reducción, no hace otra cosa que transmitir dicha reducción hasta el valor del costo social de accidentes final.

El supuesto de una reducción de la tasa de accidentes debe ser entendido en un marco de evaluación social de proyectos viales realizada en una etapa previa a su ejecución, sin embargo, no se tiene certeza sobre los efectos que tendrá la puesta en marcha del proyecto de mejoramiento y/o rehabilitación en la ruta. En efecto, existen aspectos de orden psicológico que pueden definir fuertemente el comportamiento de los usuarios, como el exceso de confianza de los conductores al percibir que circulan por un camino de mayor estándar y seguridad, que eventualmente podría dar un margen para sobrepasar la velocidad de proyecto y por lo tanto incrementar el número de accidentes en vez de reducirlo. A su vez, los accidentes podrían migrar de un lugar a otro producto de una búsqueda del equilibrio natural de la red de transporte. Por lo tanto se recomienda en el presente Trabajo de Título ser muy cauteloso con la utilización de estos antecedentes y considerar este beneficio sólo en aquellos tramos existentes que efectivamente estén afectados con un alto índice de accidentabilidad en relación a la media, y en aquellos proyectos que pasen el filtro de decisión propuesto en el presente informe, pero no para cuantificar cualquier tipo de proyectos ya que fácilmente podría ser confundido con una sobrevaloración de los beneficios.



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Trabajo de Título



CAPÍTULO 4:

ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS DE DECISIÓN PROPUESTOS PARA LA
INVERSIÓN EN PROYECTOS DE SEGURIDAD VIAL.



4.1 CRITERIOS ESTABLECIDOS PARA LA EVALUACIÓN SOCIAL

Los objetivos fundamentales de la evaluación social son identificar, estimar beneficios y costos, y recomendar la conveniencia de proyectos considerando los efectos en toda la sociedad de modo que el país maximice el bienestar colectivo⁵.

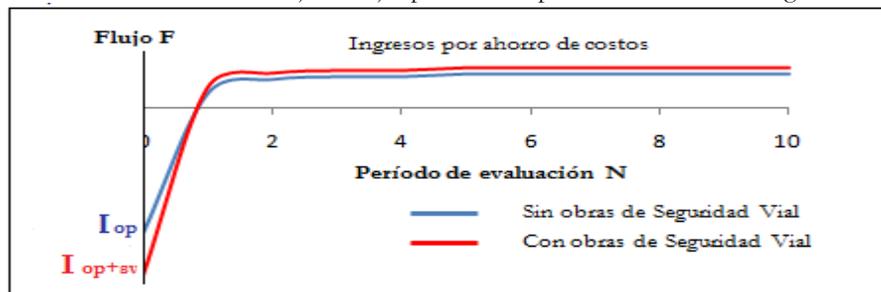
Los indicadores de toma de decisiones son índices que permiten determinar si un proyecto es o no conveniente para el inversionista, en este caso, para el Estado, permiten jerarquizar los proyectos en una cartera de inversión, permiten optimizar diversas decisiones del proyecto (ubicación, tecnología, reemplazo de equipos, segmentos de mercado a abordar, período óptimo de abandono, etc.)⁵.

En la evaluación de proyectos de mejoramiento vial se utilizan indicadores de conveniencia bastante conocidos, sin embargo, se requiere construir índices que en cierta medida den un paso adelante en la consideración de las externalidades mencionadas, en el caso del Trabajo de Título se puntualiza en el efecto de los accidentes de tránsito. Para ello se utilizan algunos indicadores propuestos y calibrados en el Trabajo, no obstante, son una herramienta de apoyo a la toma de decisiones, y no es su finalidad sustituirla.

Las variables necesarias para el cálculo de los indicadores son: el flujo de caja (F_t), la tasa de descuento social o costo de oportunidad del capital de Estado (r), actualmente en el 8%, sin embargo, se propone un rango de estudio entre 8-10%, y el horizonte de evaluación (n).

Una vez identificadas las situaciones pre y post proyecto y los ahorros de costos respectivos al cambio de estado, se construye el flujo de caja social para todo el horizonte de evaluación sin considerar las externalidades, y un segundo flujo de cajas teniendo en cuenta los efectos de las medidas tomadas para disminuir dichas externalidades, en este caso las obras anexas en Seguridad Vial.

Cuadro 4.1.1. Variación del flujo de cajas para la incorporación de obras en Seguridad Vial.



⁵ Profesor Oscar Saavedra, Evaluación de Proyectos, Departamento de Ingeniería Industrial, FCFM Universidad de Chile.



Con estas herramientas se está en condiciones de calcular los índices propuestos para la confección del filtro de decisión. Los cuales se presentan a continuación.

4.1.1. Análisis de rentabilidad de la Seguridad Vial

La situación sin incorporar el proyecto de mejoramiento se caracteriza por el deterioro progresivo de la ruta, el cuál seguirá agudizándose de no implementar el proyecto. En el análisis económico esta situación se aprecia en el incremento de los costos totales, entre los cuales se identifican aquellos producidos por los accidentes de tránsito que ante la incertidumbre se consideran como progresión de la tendencia histórica de los últimos 4 años. Luego se puede desprender un índice de costos (IC) del período i para la situación sin proyecto:

Índice de costos del período i correspondiente al cociente entre el costo de accidentes del período y la suma de los costos desde el ítem k_1 hasta N , esto permite normalizar el índice debido a que el costo de accidentes es un ítem dentro de los costos totales, con ello el máximo valor que puede tomar IC es 1.

$$IC_i \text{ (Índice de costos del período } i) = \frac{C_{\text{Accidentes } i}}{\sum_{k_1}^N C_{k_i}} \quad (1)$$

$C_{\text{Accidentes } i}$: Costo de accidentes del período i de la vida útil del proyecto considerada.

C_{k_i} : Costo de accidentes, costo de operación, costo de tiempo de viaje y costo de conservación del período i .

Del mismo modo se puede obtener un índice de beneficios, pero esta vez en la situación del proyecto ejecutado, y por lo tanto con los beneficios correspondientes estimados.

$$IB_i \text{ (Índice de beneficios del período } i) = \frac{B_{\text{Obras Anexas } i}}{\sum_{k_1}^N B_{k_i}} \quad (2)$$

$B_{\text{Obras Anexas } i}$: Beneficio por reducción de tasa de accidentes

B_{k_i} : Beneficio por reducción de tasa de accidentes y por ahorro de costos operacionales, de tiempo de viajes y de conservación.

Con estos índices se propone un indicador de rentabilidad de la Seguridad Vial (IRSV).



Realizando el cociente entre (2) y (1):

$$\text{IRSV (Índice de rentabilidad de la Seguridad Vial)} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{IB}_i}{\sum_{i=1}^n \text{IC}_i} \quad (3)$$

IB_i : Índice de beneficios del período i .

IC_i : Índice de costos del período i .

$\text{IRSV} \in (0,1) \rightarrow$ El beneficio de las obras anexas es insuficiente en relación al costo de accidentes.

$\text{IRSV} \in [1, \infty) \rightarrow$ El beneficio de las obras anexas es suficiente en relación al costo de accidentes.

4.1.2. Impacto de la seguridad vial en la rentabilidad del proyecto.

Un indicador comúnmente utilizado es el VPN, este mide la riqueza equivalente que aporta el proyecto medido en dinero del período inicial ($t=0$), sobre la mejor alternativa de uso del capital invertido en un proyecto de igual riesgo.

El VPN es el excedente que queda para el Estado después de haber recuperado la inversión y el costo de oportunidad de los recursos destinados.

$$\text{VPN} = F_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{\prod_{k=1}^t (1+r_k)} \quad (4)$$

F_t : Flujo del período $t = (\text{Beneficio Total} - \text{Costo total})$ del período t

F_0 : Inversión inicial

r_k : Tasa de descuento (8%)

k : Período de la vida útil considerada.

Maximizar el VPN equivale a maximizar la riqueza del inversionista. Luego, el criterio de decisión es:

$\text{VPN} > 0$, conveniente en primera instancia para el agente.

$\text{VPN} = 0$, se es indiferente entre hacer o no el proyecto.

$\text{VPN} < 0$, no conviene realizarlo, es mejor destinar el capital a su uso alternativo.



Naturalmente debe ser verificado el nivel de recursos disponibles generados por ambas situaciones (con obras anexas y sólo con la obra principal), y efectuar un chequeo de la variación ΔVPN .

Sin embargo que un proyecto tenga VPN positivo no significa necesariamente que deba ejecutarse, más si se tiene una restricción presupuestaria, como es el caso de los proyectos sociales. Por lo tanto se deben comparar las situaciones mediante el índice IVAN definido como:

$$IVAN = \frac{VPN}{I_o} \quad (5)$$

VPN : Valor presente neto
I_o: Inversión inicial

En que ahora la decisión se enmarca en comparar los recursos disponibles generados por el proyecto por unidad monetaria invertida. Luego, es posible desprender este indicador para las situaciones con obras anexas y sin ellas.

$$IVAN_{COA} = \frac{VPN_{COA}}{I_o} \quad (6)$$

VPN_{COA} : Valor presente neto considerando el beneficio de las obras anexas en el cálculo del VPN.
I_o: Inversión inicial total

$$IVAN_{SOA} = \frac{VAN_{SOA}}{I_o - I_{sv}} \quad (7)$$

VPN_{SOA} : Valor presente neto sin considerar el beneficio de las obras anexas.
I_o: Inversión inicial total.
I_{sv}: Inversión en obras de Seguridad Vial.

Dado lo anterior se propone establecer un índice llamado Razón de inversión (RI) correspondiente al cociente entre el IVAN de la situación con obras anexas y el IVAN de la situación sólo con la obra principal.

Tomando el cociente entre (6) y (7) se tiene:

$$RI \text{ (Razón de inversión)} = \frac{IVAN_{COA}}{IVAN_{SOA}} = \frac{\frac{VAN_{COA}}{I_{COA}}}{\frac{VAN_{SOA}}{I_o - I_{sv}}} = \frac{VAN_{COA}}{VAN_{SOA}} \cdot \frac{I_o - I_{sv}}{I_{COA}} \quad (8)$$



Naturalmente existe una dependencia del monto de inversión total I_0 y del porcentaje utilizado para la incorporación de obra anexas.

El incremento de RI está asociado con el aumento en el impacto de las obras de Seguridad Vial en el proyecto global. El mínimo valor aceptable es el punto crítico $RI=1,0$.

$RI \in (0,1) \rightarrow$ Obras anexas generan un impacto inaceptable en la rentabilidad.

$RI \in [1, \infty) \rightarrow$ Obras anexas generan un impacto suficiente en la rentabilidad.

4.1.3. Compensación del proyecto

Una vez estudiado el cambio de estado para las situaciones con la obra principal y con las obras anexas, se utiliza el índice de beneficio-costos (B/C), el cual establece un parámetro de evaluación del porcentaje de beneficios generados por el proyecto en relación a los costos totales por situación.

La maximización de este indicador no maximiza la riqueza, pero sirve para comparar alternativas en función del nivel de costos incurridos.

Lo que permite confeccionar un nuevo indicador Índice de compensación del proyecto (ICP).

$$ICP = \frac{\sum_{i=1}^n B/C_{c.o.a. i}}{\sum_{i=1}^n B/C_{s.o.a. i}} \quad (9)$$

$B/C_{COA i}$: Razón beneficio/Costo incluyendo las obras anexas del período i

$B/C_{SOA i}$: Razón Beneficio/Costo sin incluir las obras anexas del período i .

Este indicador es una alternativa para el RI, por lo tanto tiene un enfoque similar.

$ICP \in (0,1) \rightarrow$ Obras anexas generan un impacto inaceptable en la rentabilidad.

$ICP \in [1, \infty) \rightarrow$ Obras anexas generan un impacto suficiente en la rentabilidad.



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Trabajo de Título

Cabe destacar, que los puntos críticos de aceptación en la decisión de proyectos que incluyan mejoramiento en la Seguridad Vial, requieren una calibración mediante la evaluación de diversos proyectos de mejoramiento y rehabilitación de rutas interurbanas, en que precisamente se calculen todos estos indicadores.

Para evitar distorsiones en el análisis se consideran rutas de un mismo estándar en la situación sin proyecto, correspondientes en este caso a autorutas de la red vial nacional que presenten un alto índice de accidentabilidad, a las cuales se les haya ejecutado un proyecto de mejoramiento y/o rehabilitación.

El análisis de la tendencia de estos indicadores permitirá concluir sobre cuál es el filtro aceptable para la toma de decisiones en la inversión de proyectos de Seguridad Vial.



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Trabajo de Título



CAPÍTULO 5:

CALIBRACIÓN DE INDICADORES MEDIANTE ESTUDIOS DE
PREFACTIBILIDAD REALIZADOS EN PROYECTOS DE MEJORAMIENTO
DE RUTAS INTERURBANAS.

5.1 CALIBRACIÓN DE INDICADORES

Dada a la necesidad de calibrar los indicadores propuestos y analizar la validez de sus valores mínimos se evalúan una serie de proyectos de mejoramientos en los que se contempla la incorporación de obras anexas en Seguridad Vial.

Los proyectos han sido escogidos para considerar diferentes aspectos de mejoramiento, y distintas tasas de accidentes, no obstante, tratando de mantener constante el plan de incorporación de obras anexas, para estudiar el impacto en la evaluación económica del proyecto global. Cabe destacar, que los antecedentes seleccionados se encuentran acotados por la disponibilidad de la bibliografía, y en el desarrollo del Trabajo de Título sólo se expone la información relevante de cada proyecto.

5.1.1 Mejoramiento y rehabilitación de la Ruta 60 Ch. Sector: Los Andes – Túnel del Cristo Redentor, V Región.

5.1.1.1 Antecedentes Generales de la Obra Principal.

La Ruta 60 CH corresponde a un camino del tipo cordillerano que se desarrolla por cerros que conforman el sector montañoso que da origen a la cuenca del río Aconcagua, lo que explica las condiciones geométricas de radios relativamente pequeños, y velocidades de proyecto que no superan los 70 km/hr, que se concentran entre los 30 y 50 km/hr. Sin embargo, debido a que se proyecta la construcción de un futuro embalse en el sector, la inversión en mejoramientos geométricos y movimientos de tierra no podrán alcanzar a ser recuperados, y por lo tanto no hay cambios geométricos contemplados en el proyecto.

Entre las mejoras más importantes se destaca la necesidad de reducir las pendientes de los taludes en sectores donde los cortes adyacentes al camino presentan inestabilidad por el posible desmoronamiento y desprendimiento de bloques. Además debido a que el estado del pavimento es muy heterogéneo, con variados tipos de fallas, incluso en algunos sectores con un deterioro muy severo, se proyectó la rehabilitación de los pavimentos existentes mediante recapados y reconstrucción asfáltica. Se contempló además la pavimentación de bermas con concreto asfáltico y otras obras de seguridad vial como barreras de contención, aceras peatonales en zonas de asentamientos humanos y demarcación entre otras especificadas más adelante.

A continuación se muestra el detalle de los aspectos generales contemplados en el proyecto de mejoramiento de la Ruta 60 CH. Cabe destacar que corresponde a un promedio de la ruta, es decir, la ausencia de cambios de la geometría en planta y/o alzado no significa que no existan cambios en sectores puntuales, sólo que para la evaluación general del proyecto no es relevante considerarlo.

Tabla 5.1.1.1.1. Antecedentes geométricos generales Ruta 60 Ch.

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
	Sin Proyecto	Sin Proyecto	Sin Proyecto
Pend. Subida [%]	2	8	5
Pend. Bajada [%]	2	8	5
Long. Subida [Km]	8	2	4
Long. Bajada [Km]	8	2	4
Curva Horiz. [Grad/km]	187	187	187
Ancho Calzada [Mts]	7	7	7

Fuente: R&Q INGENIERÍA S.A., “Estudio de Ingeniería Mejoramiento integral Ruta 60 Ch, Sector: Los Andes – Túnel Cristo Redentor, V Región”

Se considera la mitad del tramo en subida y la mitad en bajada con las pendientes respectivas. La curvatura horizontal corresponde a un promedio de la ruta que permita englobar las características generales de las situaciones pre y post proyecto.

Tabla 5.1.1.1.2. Variación de la rugosidad en todos los tramos de estudio.

Rugosidad	Sin proyecto	Con proyecto
IRI	8	3

Fuente: Valores establecidos por la Dirección de Vialidad

La rugosidad establecida para ambas situaciones se encuentra estandarizada de acuerdo al cambio del estado del pavimento.

Tabla 5.1.1.1.3. Condición de Tránsito: Estimación de crecimiento del Tránsito medio diario anual TMDA linealmente con el tiempo.

Tipo de vehículo	TMDA ₀	Tasa crecimiento
Automóviles	6600	3,7
Camionetas	2828	2,1
Camiones Simples	1549	2,8
Camiones Articulado	584	3,5
Buses	685	4,1

TMDA₀: Tránsito medio diario anual inicial [vehículos/día]
Tasa de crecimiento aplicada anualmente.

Fuente: Información de Tránsito Dirección de Vialidad

5.1.1.2. Antecedentes Generales de las Obras Anexas.

Tabla 5.1.1.2.1. Accidentes: Se expone el historial de accidentes entre el año 2004 y 2007.

Año	Accidentes	Fallecidos	Lesionados
2004	61	11	120
2005	92	15	196
2006	92	15	196
2007	114	19	221
Promedio	90	15	183

Fuente: Bibliografía Depto. Seguridad Vial, Dirección de Vialidad.

Tabla 5.1.1.2.2. Implementación de obras Anexas. Detalle de las obras anexas consideradas en la evaluación de la ruta 60 Ch.

Dm	Descripción General	Tasa de reducción[%]	Tipo
Toda la ruta	Demarcación horizontal	-45	Accidentes con lesionados
Tramo 1	Barreras de contención	-43	Fallecidos
		-30	Lesionados
		24	Tasa de accidentes
	Rehabilitación de pavimento	-20	Accidentes con lesionados
		-19	Accidentes sin lesionados
	Reducción pendiente taludes	-22	Accidentes con lesionados
		-24	Accidentes sin lesionados
	Implementación de bermas	-8	Accidentes con lesionados
-6		Todos los accidentes	
Tramo 3	Barreras de contención	-43	Fallecidos
		-30	Lesionados
		24	Tasa de accidentes
	Rehabilitación de pavimento	-20	Accidentes con lesionados
		-19	Accidentes sin lesionados
	Reducción pendiente taludes	-22	Accidentes con lesionados
		-24	Accidentes sin lesionados
	Implementación de bermas	-8	Accidentes con lesionados
-6		Todos los accidentes	
Tramo 3 (1,92 km)	Aumento número pistas	-18	Accidentes con lesionados
		-20	Accidentes sin lesionados
SECTOR 5	Rehabilitación de pavimento	-20	Accidentes con lesionados
		-19	Accidentes sin lesionados
	Reducción pendiente taludes	-22	Accidentes con lesionados
		-24	Accidentes sin lesionados



	Implementación berma	-8	Accidentes con lesionados
		-6	Todos los accidentes
Dm 50240-50540	Acera peatonal	-5	Accidentes de peatones
Dm 50546-52160	Acera peatonal	-5	Accidentes con vehículos
Dm 61100-62100	Acera peatonal	-4	Todos los accidentes
Dm 63200-63400	Acera peatonal		
Dm 63400-63700	Acera peatonal		
Dm 63700-63900	Acera peatonal		
Dm 63900-64000	Acera peatonal		
Dm 64400-64900	Acera peatonal		

5.1.1.3 Cálculo de beneficios de la Obra Principal.

Corresponden a la diferencia de costos operacionales, de conservación y de tiempos de viajes, determinados con el software HDM-3 mediante el input detallado en el punto 5.1.1. El detalle se entrega conjuntamente con el beneficio de las obras anexas (que se explica a continuación), para evitar repetir información innecesaria.

5.1.1.4 Cálculo del beneficio de las obras anexas.

5.1.1.4.1 Costo social de accidentes sin proyecto:

La distribución del número de accidentes por tipología del mismo, del número de lesionados por gravedad de la lesión, mas el número de fallecidos permite desprender la siguiente información clasificada para la ruta 60 Ch:

Tabla 5.1.1.4.1.1. Distribución del número de accidentes por año según tipología.

Tasa accidentes	Categoría de Accidente					Total Accidentes Sin Proyecto	
	Año	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura		Solo daño
	2004	4,9	15,0	17,9	13,9	9,3	61
	2005	7,4	22,6	27,0	20,9	14,0	92
	2006	7,4	22,6	27,0	20,9	14,0	92
	2007	9,2	28,0	33,4	25,9	17,4	114

Tabla 5.1.1.4.1.2. Número de Fallecidos y distribución del número de lesionados según nivel de lesión.

Tasa accidentes	Lesionados			Total	Fallecidos SP
Año	Leves	M. Graves	Graves	Lesionados SP	
2004	93,7	12,1	14,2	120	11
2005	153,0	19,8	23,1	196	15
2006	153,0	19,8	23,1	196	15
2007	172,6	22,4	26,1	221	19

Con lo que es posible calcular el costo social de accidentes sin proyecto:

Tabla 5.1.1.4.1.3. Costo social de accidentes sin proyecto.

Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	827847	40
2005	1164111	56
2006	1164111	56
2007	1452179	69

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio 2008

5.1.1.4.2 Aplicación de los factores de reducción.

La aplicación del criterio de selección señalado en la metodología del Trabajo de Título permite desprender los siguientes factores de reducción:

Tabla 5.1.1.4.2.1. Factores de reducción utilizados.

	Δr [%]
Accidentes con lesionados	-34,2
Accidentes sin lesionados	-25,5
Accidentes de peatones	-0,8
Fallecidos	-31,3
Lesionados	-21,8
Tasa de accidentes	-6,6

Los factores de reducción incorporables dependen de las obras anexas implementadas y por ende, del proyecto. En este caso los coeficientes de reducción para “Fallecidos”, “Lesionados” y “Tasa de accidentes” son aplicados en las columnas respectivas, no obstante, existen otros factores que deben ser incorporados en algunos ítems de sub-clasificación, en

este caso, “Accidentes con lesionados” se aplica en las primeras cuatro columnas de la tabla de categorías de accidentes, “Accidentes sin lesionados” en el ítem de “Solo daños”, “Accidentes de peatones” en la columna “Atropello”.

5.1.1.4.3 Costo social de accidentes con proyecto:

Tabla 5.1.1.4.3.1. Costo social de accidentes con proyecto.

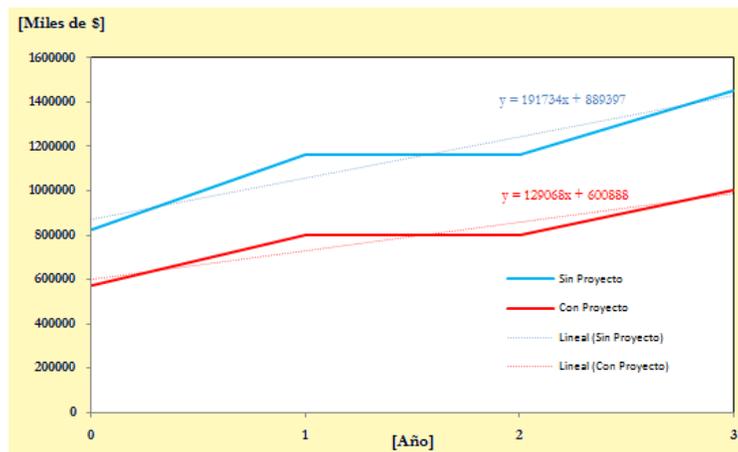
Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	570501	27
2005	803367	38
2006	803367	38
2007	1000728	48

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio 2008

El valor del costo social para ambas situaciones durante los cuatro años considerados, permite obtener una tendencia lineal de incremento del costo de accidentes en los años de evaluación de un proyecto de mejoramiento con su puesta en marcha el año 2008, es decir, al año siguiente de la curva encontrada.

Gráfico 5.1.1.4.3.1. Variación del Costo Social Anual de Accidentes



Dado un costo de inversión total del proyecto recopilado en la Dirección de Planificación, y considerando que las obras anexas corresponden al 10% del monto total, es posible determinar el flujo de caja social que considera los costos considerados en el período de evaluación, para las situaciones sin y con proyecto.

A continuación se muestra el Flujo de Caja Social para la situación con proyecto.

5.1.1.5 Evaluación económica

Tabla 5.1.1.5.1. Flujo de caja social para un período de evaluación equivalente a 10 años. Se expone la información para ambas situaciones y el cálculo del VAN del proyecto considerando las obras anexas en Seguridad Vial. (Detalle en pie de página).

		CON OBRAS ANEXAS	Año									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sin Proyecto	Costo Operación	0	24.195.318	25.075.616	25.955.914	26.836.211	27.716.509	28.596.807	29.477.104	30.357.402	31.237.700	32.117.997
	Costo Viaje	0	21.378.998	22.182.203	22.985.407	23.788.611	24.591.815	25.395.019	26.198.224	27.001.428	27.804.632	28.607.837
	Costo Accidentes	1622570	1814304	2006038	2197772	2389506	2581240	2772974	2964708	3156442	3348176	3539910
	Inversión Conservación	122.276	122.276	122.276	122.276	122.276	122.276	122.276	122.276	122.276	122.276	122.276
Con Proyecto	Costo Operación	0	18.070.009	18.730.334	19.390.660	20.050.985	20.711.311	21.371.636	22.031.962	22.692.287	23.352.613	24.012.938
	Costo Viaje	0	20.504.571	21.275.176	22.045.781	22.816.386	23.586.991	24.357.596	25.128.201	25.898.806	26.669.411	27.440.016
	Costo Accidentes	1106412	1250220	1394028	1537836	1681644	1825452	1969260	2113068	2256876	2400684	2544492
	Inversión Conservación	0	32.200	32.200	32.200	32.200	333.732	32.200	32.200	32.200	32.200	32.200
	Ahorro de costos de Operación	0	6.125.309	6.345.282	6.565.254	6.785.226	7.005.198	7.225.171	7.445.142	7.665.115	7.885.087	8.105.059
	Ahorro de Tiempos de Viaje	0	874.427	907.027	939.626	972.225	1.004.824	1.037.423	1.070.023	1.102.622	1.135.221	1.167.821
	Ahorro Costo Accidentes	516158	564084	612010	659936	707862	755788	803714	851640	899566	947492	995418
	Ahorro Conservación	0	90.076	90.076	90.076	90.076	-211.456	90.076	90.076	90.076	90.076	90.076
	Beneficio Total	516.158	7.653.896	7.954.395	8.254.892	8.555.389	8.554.354	9.156.384	9.456.881	9.757.379	10.057.876	10.358.374
	Inversión inicial	15.000.000										
Flujo de Caja Social	-14.483.842	7.653.896	7.954.395	8.254.892	8.555.389	8.554.354	9.156.384	9.456.881	9.757.379	10.057.876	10.358.374	
VAN	44.475.182											
TIR	55,5%											

- 1 Valores en miles de pesos
- 2 Valor de los costos de operación, tiempo de viaje y conservación se desprenden de los resultados de la modelación en HDM-III, para los antecedentes de la obra principal de la situación actual y con el proyecto realizado.
- 3 Valor del costo de accidentes se desprende de la extrapolación lineal de la curva "Variación del costo social anual de accidentes", para la situación actual y con el proyecto.
- 4 Ahorro de costos corresponde a la diferencia de costos respectivos entre la situación sin proyecto y con proyecto.
- 5 Beneficio total equivalente a la suma de los ahorros de costos para un mismo período.
- 6
$$VAN = \sum_i \frac{Flujo_i}{(1+r)^i}$$



Gráfico 5.1.1.5.1. Variación de flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial.

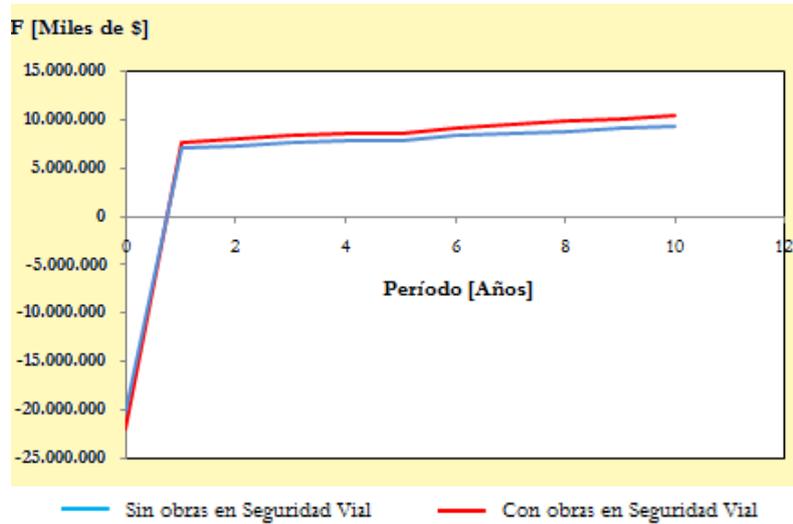


Tabla 5.1.1.5.2. Indicadores del proyecto.

Indicador	Valor	Observaciones
RI	1,12	Mayor a 1,0 proyecto genera suficientes beneficios para compensar incremento de la inversión.
IRSV	1,23	Mayor a 1,0 el beneficio de las obras anexas compensa positivamente el costo de accidentes inicial de la ruta.
ICP	1,06	Un ICP mayor a 1,0 indica que el proyecto esta traspasando efectivamente los costos extras de implementación en beneficios por reducción de la tasa de accidentes.

5.1.2 Reposición ruta 215-ch. Sector: Bifurcación Aeropuerto Carlos Hott – CR Las Lumas, X Región.

5.1.2.1 Antecedentes generales de la obra principal.

El proyecto en toda su longitud contempla obras de pavimentación basado en un recarpeteo asfáltico sobre hormigón. Además de la construcción de terraplenes de altura menor a 2,0 m en gran parte del camino para dar cabida a las nuevas bermas.

El camino existente, en general, presenta una geometría en planta que permite una velocidad de diseño de 100 km/hr, por lo que sólo se proyectaron aumentos en el radio de curvatura en sectores puntuales, pero no hay cambios importantes en su geometría de planta y alzado.

En cuanto a las obras de seguridad vial se contempló la demarcación total del eje y bordes, instalación de barreras de contención, incorporación de bermas entre otros.

Tabla 5.1.2.1.1. Antecedentes geométricos generales de la Ruta 215 Ch.

	Tramo 1	Tramo 2
	Sin Proyecto	Sin Proyecto
Pend. Subida [%]	3	3
Pend. Bajada [%]	3	3
Long. Subida [Km]	4	5
Long. Bajada [Km]	4	5
Curva Horiz.[Grad/Km]	62	62
Ancho calzada [Mts]	7	7

Fuente: AXIOMA Ingenieros Consultores, “Estudio de ingeniería Reposición Ruta 215 Ch, X Región”

Tabla 5.1.2.1.2. Rugosidad: Variación de la rugosidad en todos los tramos de estudio.

Rugosidad	Sin proyecto	Con proyecto
IRI	8	3

Fuente: Valores Dirección de Vialidad

Tabla 5.1.2.1.3. Condición de Tránsito: Estimación de crecimiento del Tránsito medio diario anual TMDA linealmente con el tiempo.

Tipo de vehículo	TMDAo	Tasa crecimiento
Automóviles	1720	3,7
Camionetas	1190	2,1
Camiones Simples	293	2,8
Camiones Articulados	357	3,5
Buses	390	4,1

TMDAo: Tránsito medio diario anual inicial [vehículos/día]

Tasa de crecimiento aplicada anualmente.

Fuente: Bibliografía Dirección de Vialidad

5.1.2.2 Antecedentes generales de las obras anexas.

Tabla 5.1.2.2.1. Accidentes: Se expone el historial de accidentes entre el año 2004 y 2007.

Año	Accidentes	Fallecidos	Lesionados
2004	13	3	30
2005	13	3	30
2006	13	3	30
Promedio	13	3	29

*Los valores correspondientes al año 2007 se escapaban por amplio margen de la media, por lo tanto no fueron considerados.

Fuente: Bibliografía Departamento de Seguridad Vial.

Tabla 5.1.2.2.2. Implementación de obras Anexas: A continuación se detallan las obras anexas consideradas en la evaluación de la ruta 215 CH.

Dm	Obra Anexa	Descripción General	Tasa de reducción[%]	Tipo
Toda la ruta	4.1	Implementación berma	-8	Accidentes con lesionados
			-6	Todos los accidentes
Toda la ruta	1.1	Defensas camineras	-43	Fallecidos
			-30	Lesionados
			24	Tasa de accidentes
Toda la ruta	11.1	Mejoramiento de Estándar	-20	Accidentes con lesionados
			-19	Accidentes sin lesionados
Toda la ruta	13.3	Demarcación	-45	Accidentes con lesionados
Dm 7395-7625	12.1	Iluminación	-64	Accidentes con fallecidos
Dm 9215-10050			-28	Accidentes con lesionados
Dm 11295-11725			-17	Accidentes sin lesionados
Dm 12620-13420				
Dm14510-14870				



Dm 15760-16160				
Dm 17765-18480				
Dm 20625-20900				
Dm total 2000	8.6	Aumento radio curvatura	-10	Todos los accidentes
Toda la ruta	7.2	Reducción pendiente taludes	-22	Accidentes con lesionados
			-24	Accidentes sin lesionados

5.1.2.3 Cálculo de beneficios de la obra principal.

El detalle se entrega conjuntamente con el beneficio de las obras anexas (que se explica a continuación), para evitar repetir información innecesaria.

5.1.2.4 Cálculo del beneficio de las obras anexas.

5.1.2.4.1 Costo social de accidentes sin proyecto:

Tabla 5.1.2.4.1.1. Distribución del número de accidentes por tipología:

Tasa accidentes	Categoría de Accidente					Total
Año	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Solo daño	Accidentes Sin Proyecto
2004	1,1	3,2	3,8	3,0	2,0	13,0
2005	1,1	3,2	3,8	3,0	2,0	13,0
2006	1,1	3,2	3,8	3,0	2,0	13,0

Tabla 5.1.2.4.1.2. Número de Fallecidos y distribución del número de lesionados según nivel de la lesión.

Tasa accidentes	Lesionados			Total	Fallecidos SP
Año	Leves	M. Graves	Graves	Lesionados SP	
2004	23,4	3,0	3,5	30	3
2005	23,4	3,0	3,5	30	3
2006	21,1	2,7	3,2	27	3

Tabla 5.1.2.4.1.3. Costo social de accidentes sin proyecto:

Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	237914	11,4
2005	237914	11,4
2006	235870	11,3

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio 2008

5.1.2.4.2 Aplicación de los factores de reducción.

La aplicación del criterio de selección señalado en la metodología del Trabajo de Título permite desprender los siguientes factores de reducción:

Tabla 5.1.2.4.2.1. Factores de reducción utilizados.

	Δr [%]
Accidentes con lesionados	-25,7
Accidentes sin lesionados	-13,9
Fallecidos	-28,8
Lesionados	-30,0
Tasa de accidentes	-3,6

5.1.2.4.3 Costo social de accidentes con proyecto:

Tabla 5.1.2.4.3.1. Costo social de accidentes con proyecto.

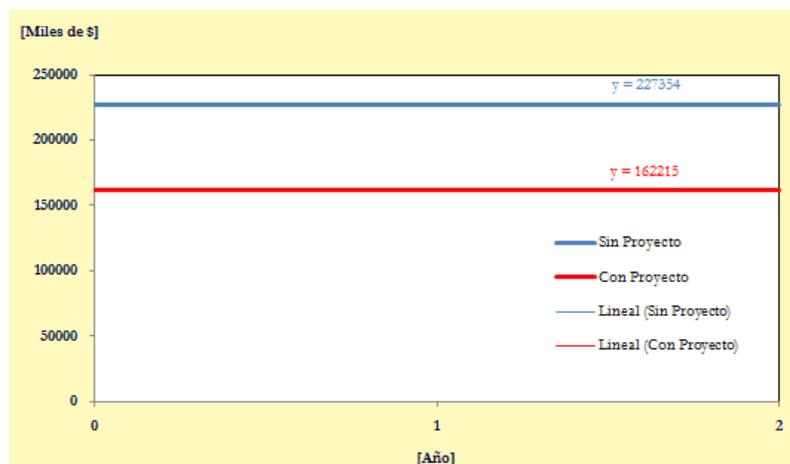
Tasa accidentes	COSTO SOCIAL TOTAL (Miles \$) *	COSTO SOCIAL TOTAL (Miles UF) **
Año		
2004	169606	8
2005	169606	8
2006	168176	8

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio 2008

El valor del costo social es bastante menor de un año a otro, por lo tanto se considera el promedio simple entre los datos disponibles.

Gráfico 5.1.2.4.3.1. Variación del Costo Social Anual de Accidentes





5.1.2.5 Evaluación económica

Tabla 5.1.2.5.1. Flujo de caja social para un período de evaluación equivalente a 10 años. Se expone la información para ambas situaciones y el cálculo del VAN del proyecto considerando las obras anexas en Seguridad Vial. (Detalle en pie de página).

CON OBRAS ANEXAS		Año										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sin Proyecto	Costo Operación		5.463.829	5.839.786	6.215.742	6.591.699	6.967.656	7.343.613	7.719.569	8.095.526	8.471.483	8.847.440
	Costo Viaje		4.885.515	5.185.169	5.484.824	5.784.478	6.084.133	6.383.787	6.683.442	6.983.096	7.282.750	7.582.405
	Costo Operacional Total		10.349.344	11.024.955	11.700.566	12.376.177	13.051.789	13.727.400	14.403.011	15.078.622	15.754.233	16.429.845
	Costo Accidentes	237.233	237.233	237.233	237.233	237.233	237.233	237.233	237.233	237.233	237.233	237.233
Con Proyecto	Inversión Conservación	78.606	78.606	78.606	78.606	78.606	78.606	78.606	78.606	78.606	78.606	78.606
	Costo Operación	0	4.062.732	4.345.805	4.628.878	4.911.952	5.195.025	5.478.098	5.761.172	6.044.245	6.327.318	6.610.392
	Costo Viaje	0	4.581.492	4.860.181	5.138.869	5.417.557	5.696.246	5.974.934	6.253.622	6.532.311	6.810.999	7.089.687
	Costo Operacional Total	0	8.644.224	9.205.986	9.767.747	10.329.509	10.891.271	11.453.032	12.014.794	12.576.556	13.138.317	13.700.079
	Costo Accidentes	169.129	169.129	169.129	169.129	169.129	169.129	169.129	169.129	169.129	169.129	169.129
	Inversión Conservación		20.700	20.700	20.700	20.700	214.542	20.700	20.700	20.700	20.700	20.700
	Ahorro de costos de Operación		1.401.097	1.493.981	1.586.864	1.679.747	1.772.631	1.865.515	1.958.397	2.051.281	2.144.165	2.237.048
	Ahorro de Tiempos de Viaje		304.023	324.988	345.955	366.921	387.887	408.853	429.820	450.785	471.751	492.718
	Reducción Costo Accidentes	68.104	68.104	68.104	68.104	68.104	68.104	68.104	68.104	68.104	68.104	68.104
	Ahorro Conservación	0	57.906	57.906	57.906	57.906	-135.936	57.906	57.906	57.906	57.906	57.906
Beneficio Total	68.104	1.831.130	1.944.979	2.058.829	2.172.678	2.092.686	2.400.378	2.514.227	2.628.076	2.741.926	2.855.776	
Inversión inicial	3.041.260											
FLUJO CAJA SOCIAL	-2.973.156	1.831.130	1.944.979	2.058.829	2.172.678	2.092.686	2.400.378	2.514.227	2.628.076	2.741.926	2.855.776	
VAN	12.139.398											
Tasa descuento	8%											
TIR	66,4%											

- 1 Valores en miles de pesos
- 2 Valor de los costos de operación, tiempo de viaje y conservación se desprenden de los resultados de la modelación en HDM-III, para los antecedentes de la obra principal de la situación actual y con el proyecto realizado.
- 3 Valor del costo de accidentes se desprende de la extrapolación lineal de la curva "Variación del costo social anual de accidentes", para la situación actual y con el proyecto.
- 4 Ahorro de costos corresponde a la diferencia de costos respectivos entre la situación sin proyecto y con proyecto.
- 5 Beneficio total equivalente a la suma de los ahorros de costos para un mismo período.

$$6 \quad VAN = \sum_i \frac{Flujo_i}{(1+r)^i}$$



Gráfico 5.1.2.5.1. Variación de flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial.

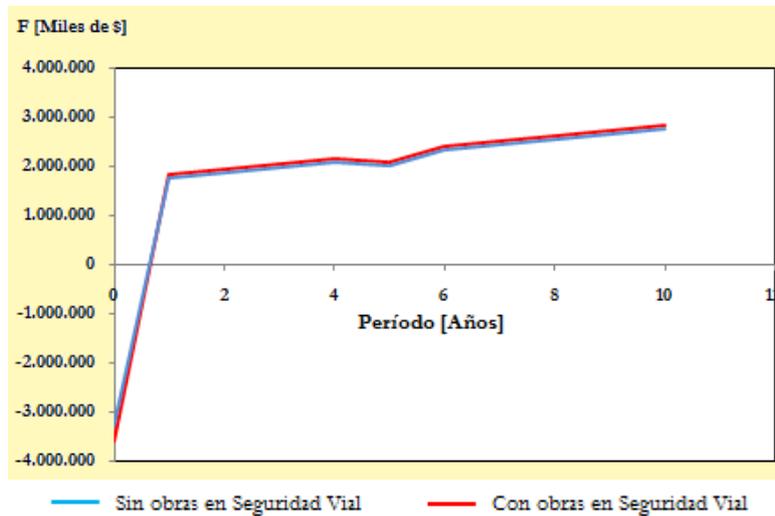


Tabla 5.1.2.5.2. Indicadores del proyecto

Indicador	Valor	Observaciones
RI	0,92	Menor a 1,0 proyecto reduce los ingresos disponibles debido al aumento de la inversión y a los “insuficientes” beneficios de las obras en Seguridad Vial
IRSV	1,14	Mayor a 1,0 el beneficio de las obras anexas compensa positivamente el costo de accidentes inicial de la ruta.
ICP	1,02	Un ICP mayor a 1,0 indica que el proyecto esta traspasando efectivamente los costos extras de implementación en beneficios por reducción de la tasa de accidentes.

Este tipo de proyectos es un ejemplo claro de aquellos que perfectamente podrían considerar un plan de mejoramiento en la seguridad vial de la ruta, debido a que el aumento en los costos de inversión por incorporar obras anexas a pesar de reducir los ingresos disponibles (RI cercano pero menor a 1), sigue teniendo ingresos positivos y una tasa interna de retorno mayor a la tasa de riesgo. Además genera un impacto positivo al comparar el costo social de accidentes previo a la puesta en marcha del proyecto, y los beneficios que es capaz de producir por reducir la tasa de accidentes post proyecto, situación que puede verse con el indicador IRSV mayor a 1.



FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Trabajo de Título

Este proyecto presenta condiciones favorables para soportar un leve incremento en la inversión por incorporar obras anexas y recuperarlo en beneficios sociales por una menor tasa de accidentes, sin embargo, el evaluador podría caer en la tentación de desechar un plan de seguridad vial considerando el costo oportunidad de los recursos estatales. En efecto, aumentar el monto del inversión en el período inicial sería suficiente como para postergarlo debido al escaso incremento del VAN del proyecto.

5.1.3 Ampliación reposición ruta 5 Chiloé. Sector: Bifurcación Puente Bicentenario- Bifurcación Pupelde. X Región.

5.1.3.1 Antecedentes generales de la obra principal.

El objetivo del proyecto es mantener una adecuada y segura conectividad entre Chacao y Ancud, para lo que será necesario la construcción de la segunda calzada y la rehabilitación y mejoramiento del trazado de la actual Ruta 5, entre los sectores señalados mediante una reposición de pavimento hormigón.

En cuanto al diseño geométrico se proyecta ampliar el ancho de calzada al doble de la actual, pero no existen otros cambios relevantes con respecto a la situación sin proyecto.

Tabla 5.1.3.1.1. Antecedentes geométricos generales de la Ruta 5 Chiloé.

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
	Sin Proyecto					
Pend. Subida [%]	3	2	2	1	1	1
Pend. Bajada [%]	3	2	2	1	1	1
Long. Subida [Km]	1	4	5	2	1	1
Long. Bajada [Km]	1	4	5	2	1	1
Curva Horiz.[Grad/Km]	187	187	187	187	187	187
Ancho calzada [Mts]	7	7	7	7	7	7

Fuente: R&Q INGENIERÍA S.A., "Estudio de Ingeniería, Ampliación Reposición Ruta 5 Chiloé"

Tabla 5.1.3.1.2. Variación de la rugosidad en todos los tramos de estudio.

Rugosidad	Sin proyecto	Con proyecto
IRI	8	3

Fuente: Valores Dirección de Vialidad.

Tabla 5.1.3.1.3. Condición de Tránsito: Estimación de crecimiento del Tránsito medio diario anual TMDA linealmente con el tiempo.

Tipo de vehículo	TMDAo	Tasa crecimiento
Automóviles	3011	3,7
Camionetas	1106	2,1
Camiones Simples	488	2,8
Camiones Articulados	588	3,5
Buses	313	4,1

TMDAo: Tránsito medio diario anual inicial [vehículos/día]

Tasa de crecimiento aplicada anualmente.

Fuente: Bibliografía Dirección de Vialidad.

5.1.3.2 Antecedentes generales obras anexas.

Tabla 5.1.3.2.1. Accidentes: Se expone el historial de accidentes entre el año 2004 y 2007.

Año	Accidentes	Fallecidos	Lesionados
2004	139	37	270
2005	196	44	385
2006	166	53	292
2007	193	32	466
Promedio	174	42	353

Fuente: Bibliografía Departamento de Seguridad Vial.

Tabla 5.1.3.2.1. Implementación de obras Anexas: A continuación se detallan las obras anexas consideradas en la evaluación de la ruta 5 Chiloé.

Dm	Obra Anexa	Descripción General	Tasa de reducción[%]	Tipo	
Tramo 1	13.3	Demarcación de pavimento	-45	Accidentes con lesionados	
			-43	Fallecidos	
	1.1	Defensas camineras	-30	Lesionados	
			24	Tasa de accidentes	
			-12	Accidentes con lesionados	
	15.4	Implementación de mediana	-18	Accidentes sin lesionados	
			-18	Accidentes con lesionados	
	3.1	Incorporación pista adelantar	-20	Accidentes sin lesionados	
			-20	Accidentes con lesionados	
	11.1	Mejoramiento estandar	-19	Accidentes sin lesionados	
			-8	Accidentes con lesionados	
	4.1	Implementación de bermas	-6	Todos los accidentes	
			Tramo 2	13.3	Demarcación de pavimento
	-43	Fallecidos			
1.1	Defensas camineras	-30		Lesionados	
		24		Tasa de accidentes	
		-12		Accidentes con lesionados	
15.4	Implementación de mediana	-18		Accidentes sin lesionados	
		-18		Accidentes con lesionados	
3.1	Incorporación pista adelantar	-20		Accidentes sin lesionados	
		-20		Accidentes con lesionados	
11.1	Mejoramiento estandar	-19		Accidentes sin lesionados	
		-8		Accidentes con lesionados	
4.1	Implementación de bermas	-6		Todos los accidentes	
		Tramo 3		13.3	Demarcación de pavimento
1.1	Defensas				



		camineras	-30	Lesionados
			24	Tasa de accidentes
	15.1	Valla segregacional	-5	Accidentes de peatones
			-2	Accidentes de bicicletas
			-5	Accidentes con vehículos
			-4	Todos los accidentes
	15.4	Implementación de mediana	-12	Accidentes con lesionados
			-18	Accidentes sin lesionados
	3.1	Incorporación pista adelantar	-18	Accidentes con lesionados
			-20	Accidentes sin lesionados
	11.1	Mejoramiento estandar	-20	Accidentes con lesionados
			-19	Accidentes sin lesionados
4.1	Implementación de bermas	-8	Accidentes con lesionados	
		-6	Todos los accidentes	
Tramo 4	13.3	Demarcación de pavimento	-45	Accidentes con lesionados
	1.1	Defensas camineras	-43	Fallecidos
			-30	Lesionados
			24	Tasa de accidentes
	5.2	Reducción velocidad proyecto	-13	Todos los accidentes
			-15	Accidentes fatales
			-14	Accidentes solo lesionados
			-5	Accidentes sin lesionados
	15.4	Implementación de mediana	-12	Accidentes con lesionados
			-18	Accidentes sin lesionados
	3.1	Incorporación pista adelantar	-18	Accidentes con lesionados
			-20	Accidentes sin lesionados
	11.1	Mejoramiento estándar	-20	Accidentes con lesionados
			-19	Accidentes sin lesionados
	4.1	Implementación de bermas	-8	Accidentes con lesionados
			-6	Todos los accidentes
Tramo 5	13.3	Demarcación de pavimento	-45	Accidentes con lesionados
	1.1	Defensas camineras	-43	Fallecidos
			-30	Lesionados
			24	Tasa de accidentes
	15.4	Implementación de mediana	-12	Accidentes con lesionados
			-18	Accidentes sin lesionados
	3.1	Incorporación pista adelantar	-18	Accidentes con lesionados
			-20	Accidentes sin lesionados
	11.1	Mejoramiento estándar	-20	Accidentes con lesionados
			-19	Accidentes sin lesionados
	4.1	Implementación de bermas	-8	Accidentes con lesionados
			-6	Todos los accidentes



Tramo 6	13.3	Demarcación de pavimento	-45	Accidentes con lesionados
	1.1	Defensas camineras	-43	Fallecidos
			-30	Lesionados
			24	Tasa de accidentes
	15.4	Implementación de mediana	-12	Accidentes con lesionados
			-18	Accidentes sin lesionados
	3.1	Incorporación pista adelantar	-18	Accidentes con lesionados
			-20	Accidentes sin lesionados
	11.1	Mejoramiento estándar	-20	Accidentes con lesionados
			-19	Accidentes sin lesionados
	4.1	Implementación de bermas	-8	Accidentes con lesionados
			-6	Todos los accidentes

5.1.3.3 Cálculo de beneficios de la obra principal.

El detalle se entrega conjuntamente con el beneficio de las obras anexas (que se explica a continuación), para evitar repetir información innecesaria.

5.1.3.4 Cálculo del beneficio de las obras anexas.

5.1.3.4.1 Costo social de accidentes sin proyecto:

Tabla 5.1.3.4.1.1. Distribución del número de accidentes por tipología:

Tasa accidentes	Categoría de Accidente					Total Accidentes Sin Proyecto
	Año	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	
2004	11,2	34,1	40,8	31,6	21,1	139
2005	15,8	48,1	57,5	44,6	29,9	196
2006	13,4	40,8	48,7	37,8	25,3	166
2007	15,6	47,4	56,6	43,9	29,5	193

Tabla 5.1.3.4.1.2. Número de Fallecidos y distribución del número de lesionados según tipo de lesión.

Tasa accidentes	Lesionados			Total Lesionados SP	Fallecidos SP
	Año	Leves	M. Graves		
2004	210,8	27,3	31,9	270	37
2005	300,6	39,0	45,4	385	44
2006	228,0	29,5	34,5	292	53
2007	363,8	47,1	55,0	466	32

Tabla 5.1.3.4.1.3. Costo social de accidentes sin proyecto:

Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	2802373	134
2005	3467878	166
2006	3850685	184
2007	2799634	134

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio 2008

5.1.3.4.2 Aplicación de los factores de reducción.

La aplicación del criterio de selección señalado en la metodología del Trabajo de Título permite desprender los siguientes factores de reducción:

Tabla 5.1.3.4.2.1. Factores de reducción utilizados.

	Δr [%]
Accidentes con lesionados	-45
Accidentes sin lesionados	-20
Fallecidos	-43
Lesionados	-30
Tasa de accidentes	-7

5.1.3.4.3 Costo social de accidentes con proyecto:

Tabla 5.1.3.4.3.1. Costo social de accidentes con proyecto.

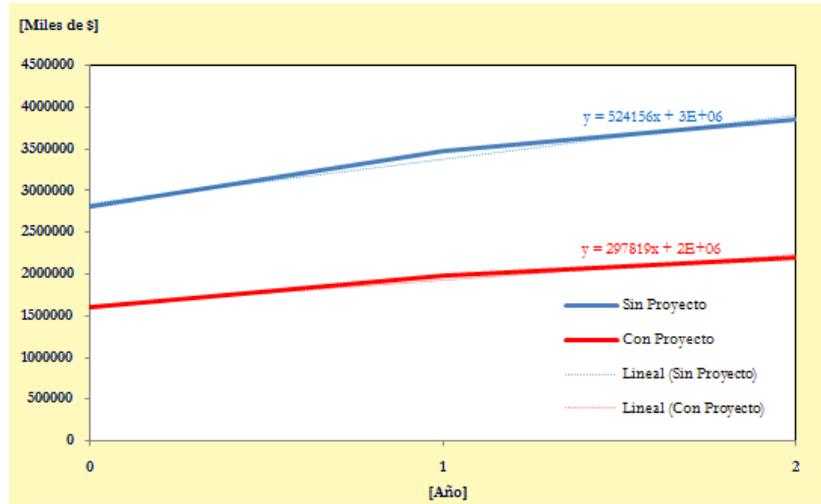
Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	1601454	77
2005	1982853	95
2006	2197092	105
2007	1609556	77

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio 2008

El valor del costo social es bastante menor de un año a otro, por lo tanto se considera el promedio simple entre los datos disponibles.

Gráfico 5.1.3.4.3.1. Variación del Costo Social Anual de Accidentes



5.1.3.5 Evaluación económica.

Tabla 5.1.3.5.1. Flujo de caja social para un período de evaluación equivalente a 10 años. Se expone la información para ambas situaciones y el cálculo del VAN del proyecto considerando las obras anexas en Seguridad Vial. (Detalle en el pie de página).

CON OBRAS ANEXAS		Año										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sin Proyecto	Costo Operación		11.745.442	12.672.533	13.599.624	14.526.715	15.453.807	16.380.898	17.307.989	18.235.080	19.162.172	20.089.263
	Costo Viaje		9.560.575	10.156.944	10.753.314	11.349.683	11.946.053	12.542.422	13.138.792	13.735.162	14.331.531	14.927.901
	Costo Operacional Total		21.306.017	22.829.477	24.352.938	25.876.398	27.399.860	28.923.320	30.446.781	31.970.242	33.493.703	35.017.164
	Costo Accidentes	3.850.685	4.374.841	4.898.997	5.423.153	5.947.309	6.471.465	6.995.621	7.519.777	8.043.933	8.568.089	9.092.245
	Inversión Conservación	74.452	74.452	74.452	74.452	74.452	74.452	74.452	74.452	74.452	74.452	74.452
Con Proyecto	Costo Operación	0	8.667.759	9.351.360	10.034.960	10.718.561	11.402.161	12.085.762	12.769.362	13.452.963	14.136.563	14.820.164
	Costo Viaje	0	9.108.238	9.672.424	10.236.611	10.800.797	11.364.984	11.929.170	12.493.356	13.057.543	13.621.729	14.185.916
	Costo Operacional Total	0	17.775.997	19.023.784	20.271.571	21.519.358	22.767.145	24.014.932	25.262.718	26.510.506	27.758.292	29.006.080
	Costo Accidentes	2.197.092	2.494.911	2.792.730	3.090.549	3.388.368	3.686.187	3.984.006	4.281.825	4.579.644	4.877.463	5.175.282
	Inversión Conservación		43.596	43.596	43.596	43.596	333.732	43.596	43.596	43.596	43.596	43.596
	Ahorro de costos de Operación		3.077.683	3.321.173	3.564.664	3.808.154	4.051.646	4.295.136	4.538.627	4.782.117	5.025.609	5.269.099
	Ahorro de Tiempos de Viaje		452.337	484.520	516.703	548.886	581.069	613.252	645.436	677.619	709.802	741.985
	Ahorro Costo Accidentes	1.653.593	1.879.930	2.106.267	2.332.604	2.558.941	2.785.278	3.011.615	3.237.952	3.464.289	3.690.626	3.916.963
	Ahorro Conservación	0	30.856	30.856	30.856	30.856	-259.280	30.856	30.856	30.856	30.856	30.856
	Ingreso Total	1.653.593	5.440.806	5.942.816	6.444.827	6.946.837	7.158.713	7.950.859	8.452.871	8.954.881	9.456.893	9.958.903
Inversión inicial	35.087.581											
FLUJO CAJA SOCIAL	-33.433.988	5.440.806	5.942.816	6.444.827	6.946.837	7.158.713	7.950.859	8.452.871	8.954.881	9.456.893	9.958.903	
VAN	15.917.448											
Tasa descuento	8,0%											
TIR	16,6%											

- 1 Valores en miles de pesos
- 2 Valor de los costos de operación, tiempo de viaje y conservación se desprenden de los resultados de la modelación en HDM-III, para los antecedentes de la obra principal de la situación actual y con el proyecto realizado.
- 3 Valor del costo de accidentes se desprende de la extrapolación lineal de la curva "Variación del costo social anual de accidentes", para la situación actual y con el proyecto.
- 4 Ahorro de costos corresponde a la diferencia de costos respectivos entre la situación sin proyecto y con proyecto.
- 5 Beneficio total equivalente a la suma de los ahorros de costos para un mismo período.
- 6
$$VAN = \sum_i \frac{Flujo_i}{(1+r)^i}$$



Gráfico 5.1.3.5.1. Variación de flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial.

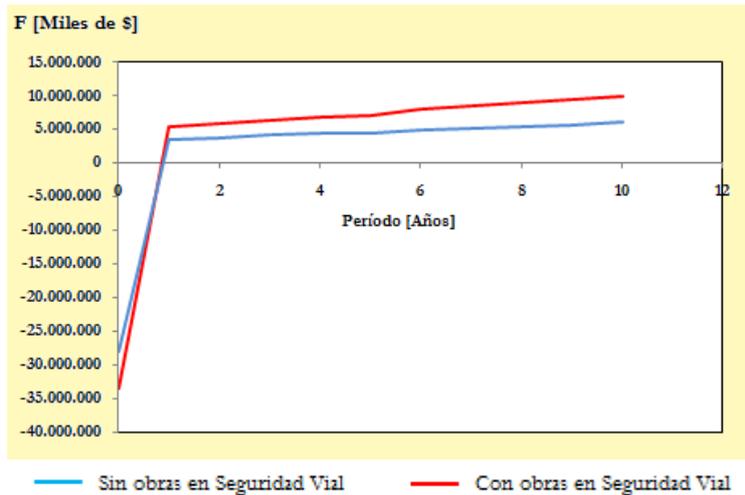


Tabla 5.1.3.5.2. Indicadores del proyecto

Indicador	Valor	Observaciones
RI	4,45	Mayor a 1,0 proyecto genera suficientes beneficios para compensar incremento de la inversión.
IRSV	1,33	Mayor a 1,0 el beneficio de las obras anexas compensa positivamente el costo de accidentes inicial de la ruta.
ICP	1,45	Un ICP mayor a 1,0 indica que el proyecto esta traspasando efectivamente los costos extras de implementación en beneficios por reducción de la tasa de accidentes.

5.1.4 Reposición ruta 199 Ch. Sector Puente Pitrahue-Puente El Piano, IX Región.

5.1.4.1 Antecedentes generales de la obra principal.

El proyecto en toda su longitud contempla obras de reposición de pavimento asfáltico, además de las obras de seguridad básicas como demarcación, defensas camineras y aceras peatonales necesarias para un sector demandado fuertemente por el tránsito turístico.

No se proyectan cambios en su diseño geométrico con respecto a la situación sin proyecto.

Tabla 5.1.4.1.1. Antecedentes geométricos generales.

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
	Sin Proyecto	Sin Proyecto	Sin Proyecto
Pend. Subida [%]	1	1	1
Pend. Bajada [%]	1	1	1
Long. Subida [Km]	2	2	3
Long. Bajada [Km]	2	2	3
Curva Horiz.[Grad/Km]	50	62	187
Ancho calzada [Mts]	7	7	7

Fuente: AXIOMA Ingenieros Consultores, "Estudio de ingeniería Reposición Ruta 199 Ch

Tabla 5.1.4.1.2. Variación de la rugosidad en todos los tramos de estudio.

Rugosidad	Sin proyecto	Con proyecto
IRI	8	3

Fuente: Valores Dirección de Vialidad.

Tránsito 5.1.4.1.3. Condición de Tránsito: Estimación de crecimiento del Tránsito medio diario anual TMDA linealmente con el tiempo.

Tipo de vehículo	TMDAo	Tasa crecimiento
Automóviles	516	3,7
Camionetas	425	2,1
Camiones Simples	78	2,8
Camiones Articulados	20	3,5
Buses	156	4,1

TMDAo: Tránsito medio diario anual inicial [vehículos/día]

Tasa de crecimiento aplicada anualmente.

Fuente: Bibliografía Dirección de Vialidad.

5.1.4.2 Antecedentes generales obras anexas.

Tabla 5.1.4.2.1. Accidentes: Se expone el historial de accidentes entre el año 2004 y 2007.

Año	Accidentes	Fallecidos	Lesionados
2004	62	6	135
2005	48	4	132
2006	48	4	132
2007	87	15	177
Promedio	61	7	144

Fuente: Bibliografía Departamento de Seguridad Vial.

Tabla 5.1.4.2.2. Implementación de obras Anexas: A continuación se detallan las obras anexas consideradas en la evaluación de la ruta 199 CH.

Dm	Obra Anexa	Descripción General	Tasa de reducción[%]	Tipo
Toda la ruta	13.3	Demarcación de pavimento	-45	Accidentes con lesionados
	4.1	Implementación de Bermas	-8	Accidentes con lesionados
-6			Todos los accidentes	
0,284 km	1.1	Defensas camineras	-43	Fallecidos
			-30	Lesionados
			24	Tasa de accidentes
0,284 km	7.3	Eliminación de obstáculos	-22	Todos los accidentes
Toda la ruta	11.1	Reposición pavimento	-20	Accidentes con lesionados
			-19	Accidentes sin lesionados
Toda la ruta	15.1	Acera peatonal	-5	Accidentes con peatones
			-4	Todos los accidentes

5.1.4.3 Cálculo de beneficios de la obra principal.

El detalle se entrega conjuntamente con el beneficio de las obras anexas (que se explica a continuación), para evitar repetir información innecesaria.

5.1.4.4 Cálculo del beneficio de las obras anexas.

5.1.4.4.1 Costo social de accidentes sin proyecto:

Tabla 5.1.4.4.1.1. Distribución del número de accidentes según tipología.

Tasa accidentes	Categoría de Accidente					Total
Año	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Solo daño	Accidentes Sin Proyecto
2004	5,0	15,2	18,2	14,1	9,5	62
2005	3,9	11,8	14,1	10,9	7,3	48
2006	3,9	11,8	14,1	10,9	7,3	48
2007	7,0	21,4	25,5	19,8	13,3	87

Tabla 5.1.4.4.1.2. Número de Fallecidos y distribución de lesionados según nivel de lesión.

Tasa accidentes	Lesionados			Total	Fallecidos SP
Año	Leves	M. Graves	Graves	Lesionados SP	
2004	105,4	13,7	15,9	135	6
2005	103,1	13,4	15,6	132	4
2006	103,1	13,4	15,6	132	4
2007	138,2	17,9	20,9	177	15

Tabla 5.1.4.4.1.3. Costo social de accidentes sin proyecto:

Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	634539	30
2005	471568	23
2006	471568	23
2007	1273729	61

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio 2008

5.1.4.4.2 Aplicación de los factores de reducción.

La aplicación del criterio de selección señalado en la metodología del Trabajo de Título permite desprender los siguientes factores de reducción:

Tabla 5.1.4.4.2.1. Factores de reducción utilizados.

	Δr [%]
Accidentes con lesionados	-45
Accidentes sin lesionados	-19
Fallecidos	-1
Lesionados	-1
Tasa de accidentes	-2
Accidentes con peatones	-5

5.1.4.4.3 Costo social de accidentes con proyecto:

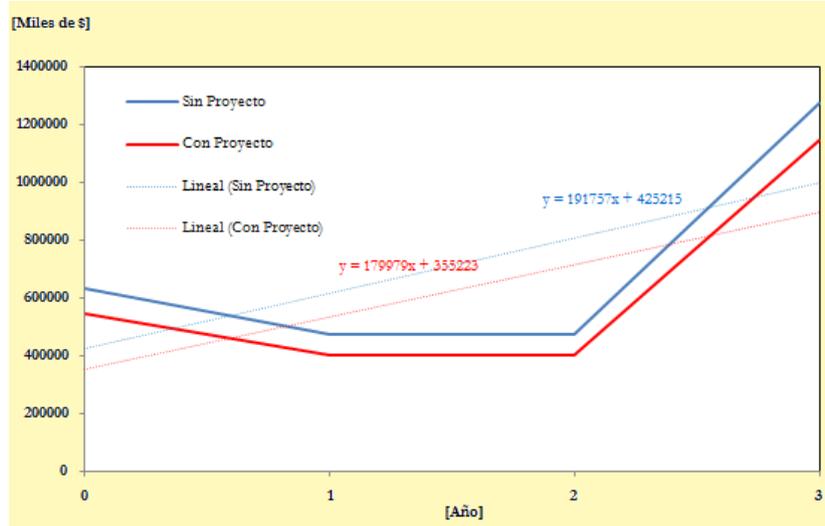
Tabla 5.1.4.4.3.1. Costo social de accidentes con proyecto.

Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	546676	26
2005	403742	19
2006	403742	19
2007	1146604	55

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio 2008

Gráfico 5.1.4.4.3.1. Variación del Costo Social Anual de Accidentes



5.1.4.5 Evaluación económica.

Tabla 5.1.4.5.1. Flujo de caja social para un período de evaluación equivalente a 10 años. Se expone la información para ambas situaciones y el cálculo del VAN del proyecto considerando las obras anexas en Seguridad Vial. (Detalle en pie de página).

CON OBRAS ANEXAS		Año										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sin Proyecto	Costo Operación		1.060.438	1.094.799	1.129.160	1.163.521	1.197.881	1.232.242	1.266.603	1.300.963	1.335.324	1.369.685
	Costo Viaje		1.259.329	1.300.651	1.341.973	1.383.295	1.424.616	1.465.938	1.507.260	1.548.582	1.589.904	1.631.226
	Costo Operacional Total		2.319.767	2.395.450	2.471.133	2.546.816	2.622.497	2.698.180	2.773.863	2.849.545	2.925.228	3.000.911
	Costo Accidentes	1.000.486	1.192.243	1.384.000	1.575.757	1.767.514	1.959.271	2.151.028	2.342.785	2.534.542	2.726.299	2.918.056
	Inversión Conservación	61.138	61.138	61.138	61.138	61.138	61.138	61.138	61.138	61.138	61.138	61.138
Con Proyecto	Costo Operación	0	778.357	803.920	829.484	855.048	880.611	906.175	931.739	957.302	982.866	1.008.429
	Costo Viaje	0	1.190.414	1.229.592	1.268.771	1.307.950	1.347.129	1.386.308	1.425.487	1.464.666	1.503.845	1.543.023
	Costo Operacional Total	0	1.968.771	2.033.512	2.098.255	2.162.998	2.227.740	2.292.483	2.357.226	2.421.968	2.486.711	2.551.452
	Costo Accidentes	895.160	1.075.139	1.255.118	1.435.097	1.615.076	1.795.055	1.975.034	2.155.013	2.334.992	2.514.971	2.694.950
	Inversión Conservación		16.100	16.100	16.100	16.100	16.100	16.100	16.100	16.100	16.100	16.100
Ahorro de costos de Operación			282.081	290.879	299.676	308.473	317.270	326.067	334.864	343.661	352.458	361.256
Ahorro de Tiempos de Viaje			68.915	71.059	73.202	75.345	77.487	79.630	81.773	83.916	86.059	88.203
Reducción Costo Accidentes		105.326	117.104	128.882	140.660	152.438	164.216	175.994	187.772	199.550	211.328	223.106
Ahorro Conservación		0	45.038	45.038	45.038	45.038	45.038	45.038	45.038	45.038	45.038	45.038
Ingreso Total		105.326	513.138	535.858	558.576	581.294	604.011	626.729	649.447	672.165	694.883	717.603
Inversión inicial		1.040.000										
FLUJO CAJA SOCIAL		-934.674	513.138	535.858	558.576	581.294	604.011	626.729	649.447	672.165	694.883	717.603
VAN		3.098.675										
Tasa descuento		8,0%										
TIR		58,2%										

- 1 Valores en miles de pesos
- 2 Valor de los costos de operación, tiempo de viaje y conservación se desprenden de los resultados de la modelación en HDM-III, para los antecedentes de la obra principal de la situación actual y con el proyecto realizado.
- 3 Valor del costo de accidentes se desprende de la extrapolación lineal de la curva "Variación del costo social anual de accidentes", para la situación actual y con el proyecto.
- 4 Ahorro de costos corresponde a la diferencia de costos respectivos entre la situación sin proyecto y con proyecto.
- 5 Beneficio total equivalente a la suma de los ahorros de costos para un mismo período.
- 6
$$VAN = \sum_i \frac{Flujo_i}{(1+r)^i}$$



Gráfico 5.1.4.5.1. Variación de flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial.

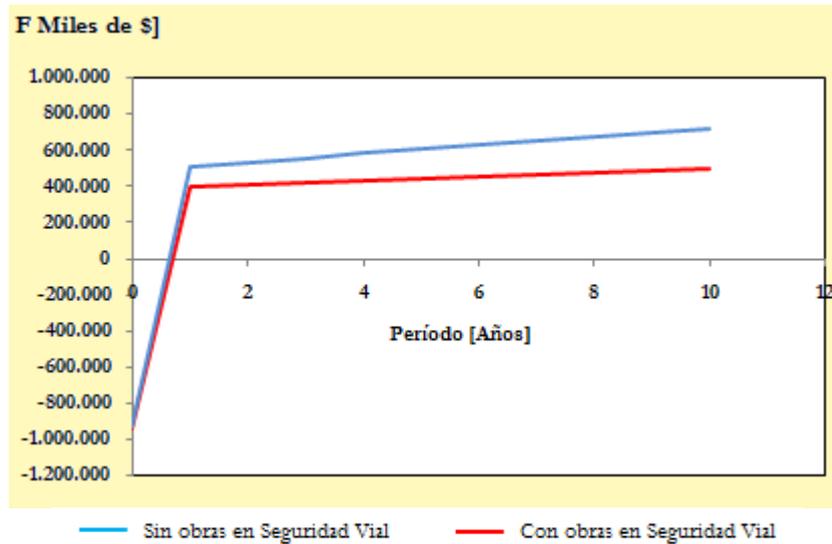


Tabla 5.1.4.5.2. Indicadores del proyecto.

Indicador	Valor	Observaciones
RI	1,39	Mayor a 1,0 proyecto genera suficientes beneficios para compensar incremento de la inversión.
IRSV	0,44	Menor a 1,0 el beneficio de las obras anexas no compensa positivamente el costo de accidentes inicial de la ruta.
ICP	0,78	Un ICP menor a 1,0 indica que el proyecto no está traspasando efectivamente los costos extras de implementación en beneficios por reducción de la tasa de accidentes.

El proyecto aumenta su nivel de ingresos a pesar del aumento en la inversión inicial, sin embargo, no presenta suficientes beneficios por reducción del costo de accidentes.

5.1.5 Reposición ruta R-42. Sector Purén–Lumaco, IX Región de la Araucanía.

5.1.5.1 Antecedentes generales de la obra principal.

En términos generales, se puede mencionar que el proyecto tiene como finalidad garantizar la transitabilidad y conectividad de la Ruta R-42 entre las ciudades de Purén y Lumaco, proyectando obras de mejoramientos geométricos en planta y alzado, una pavimentación acorde a las solicitudes y ensanchando la plataforma, entre otros aspectos de seguridad vial. La alternativa corresponde a un pavimento de asfalto sobre un camino de Ripio.

El diseño Geométrico no tiene proyectado cambios con respecto a la situación sin proyecto.

Tabla 5.1.5.1.1. Antecedentes geométricos generales de la Ruta R.42.

	Tramo 1	
	Sin Proyecto	Con Proyecto
Pend. Subida [%]	3	1
Pend. Bajada [%]	3	1
Long. Subida [Km]	12	12
Long. Bajada [Km]	12	12
Curva Horiz.[Grad/Km]	62	175
Ancho calzada [Mts]	7	7

Fuente: GS PROYECTOS DE INGENIERÍA S.A., “Estudio de Ingeniería Mejoramiento Ruta R-42

Tabla 5.1.5.1.2. Variación de la rugosidad en todo el tramo en estudio.

Rugosidad	Sin proyecto	Con proyecto
IRI	9	3

Fuente: Bibliografía Dirección de Vialidad.

Tabla 5.1.5.1.3. Condición de Tránsito: Estimación de crecimiento del Tránsito medio diario anual TMDA linealmente con el tiempo.

Tipo de vehículo	TMDAo	Tasa crecimiento
Automóviles	209	3,7
Camionetas	89	2,1
Camiones Simples	32	2,8
Camiones Articulados	95	3,5
Buses	21	4,1

TMDAo: Tránsito medio diario anual inicial [vehículos/día]
Tasa de crecimiento aplicada anualmente.

Fuente: Bibliografía Dirección de Vialidad.

5.1.5.2 Antecedentes generales obras anexas.

Tabla 5.1.5.2.1. Accidentes: Se expone el historial de accidentes entre el año 2004 y 2007.

Año	Accidentes	Fallecidos	Lesionados
2004	4	1	14
2005	1	0	2
2006	1	0	2
Promedio	2	0	6

Fuente: Bibliografía Departamento de Seguridad Vial.

Tabla 5.1.5.2.2. Implementación de obras Anexas: A continuación se detallan las obras anexas consideradas en la evaluación de la ruta R-42.

Dm	Obra Anexa	Descripción General	Tasa de reducción[%]	Tipo
Toda la ruta	13.3	Demarcación de pavimento	-45	Accidentes con lesionados
	4.1	Implementación de Bermas	-8	Accidentes con lesionados
-6			Todos los accidentes	
3,7 km	1.1	Defensas camineras	-43	Fallecidos
			-30	Lesionados
			24	Tasa de accidentes
Toda la ruta	11.1	Reposición pavimento	-20	Accidentes con lesionados
			-19	Accidentes sin lesionados
2 km	15.1	Acera peatonal	-5	Accidentes con peatones
			-4	Todos los accidentes
4,8	8.1	Aumento radio curvatura	-50	Todos los accidentes
Toda la ruta	15.3	Aumento de calzada rural	-5	Accidentes con lesionados
			-13	Accidentes sin lesionados

5.1.5.3 Cálculo de beneficios de la obra principal.

El detalle se entrega conjuntamente con el beneficio de las obras anexas (que se explica a continuación), para evitar repetir información innecesaria.



5.1.5.4 Cálculo del beneficio de las obras anexas.

5.1.5.4.1 Costo social de accidentes sin proyecto:

Tabla 5.1.5.4.1.1. Distribución del número de accidentes por tipología.

Tasa accidentes	Categoría de Accidente					Total
Año	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Solo daño	Accidentes Sin Proyecto
2004	0,3	1,0	1,2	0,9	0,6	4
2005	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	1
2006	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	1

Tabla 5.1.5.4.1.2. Número de Fallecidos y distribución de lesionados según nivel de lesión.

Tasa accidentes	Lesionados			Total	Fallecidos SP
Año	Leves	M. Graves	Graves	Lesionados SP	
2004	10,9	1,4	1,7	14	1
2005	1,6	0,2	0,2	2	0
2006	1,6	0,2	0,2	2	0

Tabla 5.1.5.4.1.3. Costo social de accidentes sin proyecto:

Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	81033	3,9
2005	4352	0,2
2006	4352	0,2

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio 2008

5.1.5.4.2 Aplicación de los factores de reducción.

La aplicación del criterio de selección señalado en la metodología del Trabajo de Título permite desprender los siguientes factores de reducción:

Tabla 5.1.5.4.2.1. Factores de reducción utilizados.

	Δr [%]
Accidentes con lesionados	-45
Accidentes sin lesionados	-19
Fallecidos	-7
Lesionados	-5
Tasa de accidentes	-3
Accidentes con peatones	-5

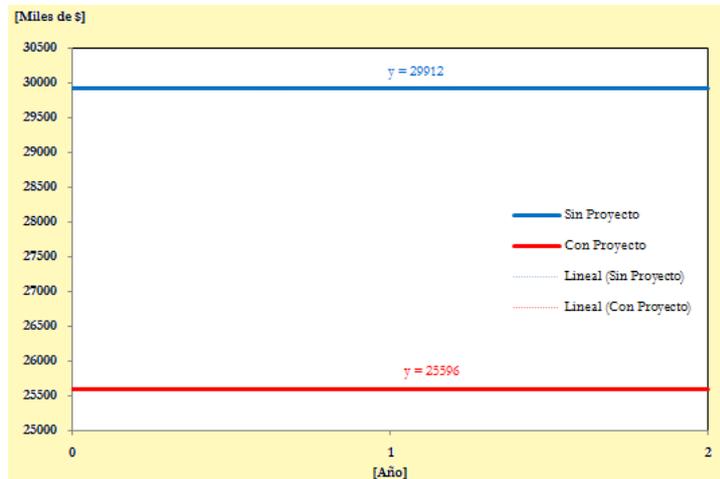
5.1.5.4.3 Costo social de accidentes con proyecto:

Tabla 5.1.5.4.3.1. Costo social de accidentes con proyecto.

Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	70943	3,4
2005	2922	0,1
2006	2922	0,1

*Valor Junio 2008 **UF 15 Junio

Gráfico 5.1.5.4.3.1. Variación del Costo Social Anual de Accidentes



5.1.5.5 Evaluación económica

Tabla 5.1.5.5.1. Flujo de caja social para un período de evaluación equivalente a 10 años. Se expone la información para ambas situaciones y el cálculo del VAN del proyecto considerando las obras anexas en Seguridad Vial. (Detalle en pie de página).

CON OBRAS ANEXAS		Año										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sin Proyecto	Costo Operación		999.191	1.030.281	1.061.371	1.092.462	1.123.552	1.154.642	1.185.732	1.216.823	1.247.913	1.279.003
	Costo Viaje		603.366	623.377	643.389	663.401	683.412	703.424	723.436	743.447	763.459	783.470
	Costo Operacional Total		1.602.557	1.653.658	1.704.760	1.755.863	1.806.964	1.858.066	1.909.168	1.960.270	2.011.372	2.062.473
	Costo Accidentes	29.912	29.912	29.912	29.912	29.912	29.912	29.912	29.912	29.912	29.912	29.912
	Inversión Conservación	40.440	43.296	46.176	49.320	52.776	250.032	60.408	64.632	69.144	74.040	79.296
Con Proyecto	Costo Operación	0	662.746	683.333	703.919	724.505	745.091	765.677	786.263	806.849	827.435	848.021
	Costo Viaje	0	576.419	595.551	614.684	633.816	652.949	672.082	691.214	710.347	729.479	748.612
	Costo Operacional Total	0	1.239.165	1.278.884	1.318.603	1.358.321	1.398.040	1.437.759	1.477.477	1.517.196	1.556.914	1.596.633
	Costo Accidentes	25.596	25.596	25.596	25.596	25.596	25.596	25.596	25.596	25.596	25.596	25.596
	Inversión Conservación		17.856	18.336	18.888	19.440	337.008	20.832	21.456	22.176	23.040	23.952
	Ahorro de costos de Operación		336.445	346.948	357.452	367.957	378.461	388.965	399.469	409.974	420.478	430.982
	Ahorro de Tiempos de Viaje		26.947	27.826	28.705	29.585	30.463	31.342	32.222	33.100	33.980	34.858
	Reducción Costo Accidentes	4.316	4.316	4.316	4.316	4.316	4.316	4.316	4.316	4.316	4.316	4.316
	Ahorro Conservación	0	25.440	27.840	30.432	33.336	-86.976	39.576	43.176	46.968	51.000	55.344
	Ingreso Total	4.316	393.148	406.930	420.905	435.194	326.264	464.199	479.183	494.358	509.774	525.500
	Inversión inicial	124.497										
	FLUJO CAJA SOCIAL	-120.181	393.148	406.930	420.905	435.194	326.264	464.199	479.183	494.358	509.774	525.500
	VAN	2.806.411										
Tasa descuento	8,0%											
TIR	330,4%											

- 1 Valores en miles de pesos
- 2 Valor de los costos de operación, tiempo de viaje y conservación se desprenden de los resultados de la modelación en HDM-III, para los antecedentes de la obra principal de la situación actual y con el proyecto realizado.
- 3 Valor del costo de accidentes se desprende de la extrapolación lineal de la curva "Variación del costo social anual de accidentes", para la situación actual y con el proyecto.
- 4 Ahorro de costos corresponde a la diferencia de costos respectivos entre la situación sin proyecto y con proyecto.
- 5 Beneficio total equivalente a la suma de los ahorros de costos para un mismo período.

$$VAN = \sum_{i=0}^{10} \frac{Flujo_i}{(1+r)^i}$$



Gráfico 5.1.5.5.1. Variación de flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial.

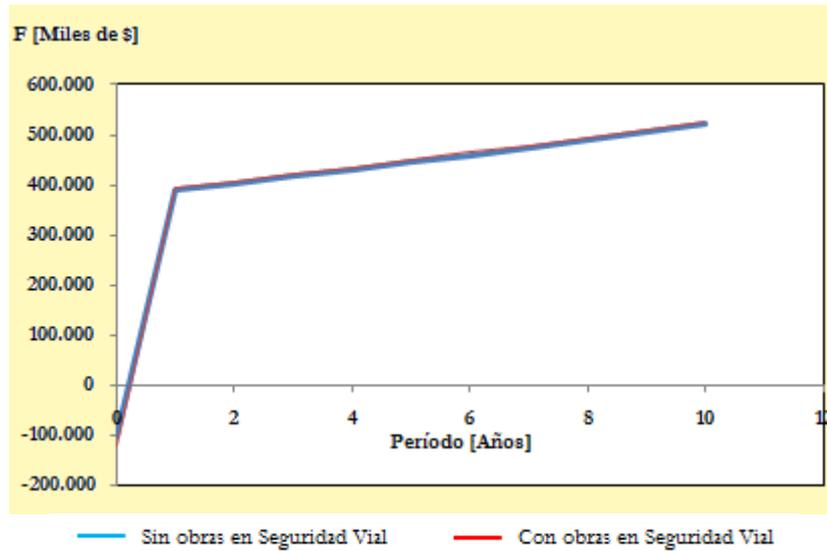


Tabla 5.1.5.5.2. Indicadores del proyecto.

Indicador	Valor	Observaciones
RI	0,80	Menor a 1,0 proyecto reduce los ingresos disponibles debido al aumento de la inversión y a los “insuficientes” beneficios de las obras en Seguridad Vial
IRSV	0,43	Menor a 1,0 el beneficio de las obras anexas no compensa positivamente el costo de accidentes inicial de la ruta.
ICP	0,99	Un ICP cercano a 1,0 indica que el proyecto esta traspasando efectivamente los costos extras de implementación en beneficios por reducción de la tasa de accidentes.

5.1.6 Mejoramiento ruta R-89. Tramo Estero El Salto – Paso Pino Hachado.

5.1.6.1 Antecedentes generales de la obra principal.

El proyecto comprende básicamente el cambio de una carpeta de ripio por una de pavimento asfáltico a lo largo de 8 Kms., además de una rectificación en 1,4 Kms.

En este sector se encuentra un bosque de Araucaria, cuya conformación produce una reducción del ancho de la calzada y sinuosidad en el trazado, por lo que el diseño geométrico no presenta variaciones importantes con respecto a la situación sin proyecto.

Tabla 5.1.6.1.1. Antecedentes geométricos generales de la Ruta R-89

	Tramo 1	
	Sin Proyecto	Con Proyecto
Pend. Subida [%]	4	3
Pend. Bajada [%]	4	3
Long. Subida [Km]	4	4
Long. Bajada [Km]	4	4
Curva Horiz.[Grad/Km]	62	187
Ancho calzada [Mts]	7	7

Fuente: Bibliografía Dirección de Vialidad.

Tabla 5.1.6.1.2. Variación de la rugosidad en todo el tramo de estudio.

Rugosidad	Sin proyecto	Con proyecto
IRI	9	3

Fuente: Valores Dirección de Vialidad.

Tabla 5.1.6.1.3. Condición de Tránsito: Estimación de crecimiento del Tránsito medio diario anual TMDA linealmente con el tiempo.

Tipo de vehículo	TMDAo	Tasa crecimiento
Automóviles	348	3,7
Camionetas	311	2,1
Camiones Simples	81	2,8
Camiones Articulados	145	3,5
Buses	45	4,1

TMDAo: Tránsito medio diario anual inicial [vehículos/día]

Tasa de crecimiento aplicada anualmente.

Fuente: Bibliografía Dirección de Vialidad.

5.1.6.2 Antecedentes generales obras anexas.

Tabla 5.1.6.2.1. Accidentes: Se expone el historial de accidentes entre el año 2004 y 2007.

Año	Accidentes	Fallecidos	Lesionados
2004	9	2	11
2005	9	5	32
2006	9	5	32
2007	31	5	47
Promedio	15	4	31

Fuente: Bibliografía Departamento de Seguridad Vial.

Tabla 5.1.6.2.2. Implementación de obras Anexas: A continuación se detallan las obras anexas consideradas en la evaluación de la Ruta R-89.

Dm	Obra Anexa	Descripción General	Tasa de reducción[%]	Tipo
Toda la ruta	13.3	Demarcación de pavimento	-45	Accidentes con lesionados
	4.1	Implementación de Bermas	-8	Accidentes con lesionados
			-6	Todos los accidentes
	11.1	Reposición pavimento	-20	Accidentes con lesionados
-19			Accidentes sin lesionados	
1,4 km	8.5	Aumento radio curvatura	-12	Todos los accidentes

5.1.6.3 Cálculo de beneficios de la obra principal.

El detalle se entrega conjuntamente con el beneficio de las obras anexas (que se explica a continuación), para evitar repetir información innecesaria.

5.1.6.4 Cálculo del beneficio de las obras anexas.

5.1.6.4.1 Costo social de accidentes sin proyecto:

Tabla 5.1.6.4.1.1. Distribución del número de accidentes por tipología.

Tasa accidentes	Categoría de Accidente					Total Accidentes Sin Proyecto
	Año	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	
2004	0,7	2,2	2,6	2,0	1,4	9
2005	0,7	2,2	2,6	2,0	1,4	9
2006	0,7	2,2	2,6	2,0	1,4	9
2007	2,5	4,2	5,0	3,9	3,8	31



Tabla 5.1.6.4.1.2. Número de Fallecidos y distribución de lesionados según nivel de lesión.

Tasa accidentes	Lesionados			Total Lesionados SP	Fallecidos SP	
	Año	Leves	M. Graves			Graves
	2004	8,6	1,1	1,3	11	2
	2005	25,0	3,2	3,8	32	5
	2006	25,0	3,2	3,8	32	5
	2007	36,7	4,8	5,5	47	5

Tabla 5.1.6.4.1.3. Costo social de accidentes sin proyecto:

Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	153474	7,3
2005	346396	16,6
2006	346396	16,6
2007	381784	18,2

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio

5.1.6.4.2 Aplicación de los factores de reducción.

La aplicación del criterio de selección señalado en la metodología del Trabajo de Título permite desprender los siguientes factores de reducción:

Tabla 5.1.6.4.2.1. Factores de reducción utilizados.

	Δr [%]
Accidentes con lesionados	-45
Accidentes sin lesionados	-19
Fallecidos	0
Lesionados	0
Tasa de accidentes	-4
Accidentes con peatones	0

5.1.6.4.3 Costo social de accidentes con proyecto:

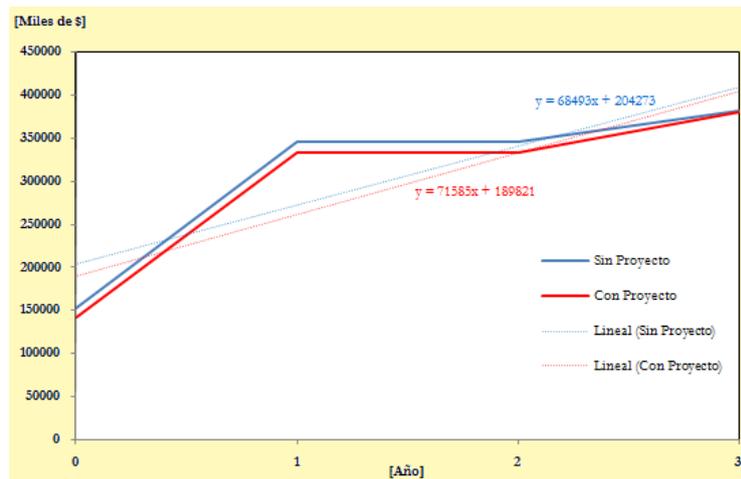
Tabla 5.1.6.4.3.1. Costo social de accidentes con proyecto.

Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	141084	6,7
2005	334005	16,0
2006	334005	16,0
2007	379701	18,1

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio

Gráfico 5.1.6.4.3.1. Variación del Costo Social Anual de Accidentes



5.1.6.5 Evaluación económica

Tabla 5.1.6.5.1. Flujo de caja social para un período de evaluación equivalente a 10 años. Se expone la información para ambas situaciones y el cálculo del VAN del proyecto considerando las obras anexas en Seguridad Vial. (Detalle en pie de página).

CON OBRAS ANEXAS		Año										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sin Proyecto	Costo Operación		669.580	692.134	714.688	737.243	759.797	782.351	804.905	827.460	850.014	872.568
	Costo Viaje		442.663	456.966	471.268	485.570	499.872	514.175	528.477	542.779	557.082	571.384
	Costo Operacional Total		1.112.243	1.149.100	1.185.956	1.222.813	1.259.669	1.296.526	1.333.382	1.370.239	1.407.096	1.443.952
	Costo Accidentes	381.784	450.277	518.770	587.263	655.756	724.249	792.742	861.235	929.728	998.221	1.066.714
	Inversión Conservación	17.640	18.808	20.176	21.584	23.072	83.344	26.472	28.344	30.376	32.544	34.888
Con Proyecto	Costo Operación	0	450.035	465.351	480.668	495.984	511.300	526.616	541.932	557.248	572.564	587.880
	Costo Viaje	0	430.694	444.569	458.445	472.321	486.196	500.072	513.947	527.823	541.699	555.574
	Costo Operacional Total	0	880.729	909.920	939.113	968.305	997.496	1.026.688	1.055.879	1.085.071	1.114.263	1.143.454
	Costo Accidentes	379.701	451.286	522.871	594.456	666.041	737.626	809.211	880.796	952.381	1.023.966	1.095.551
	Inversión Conservación		6.704	6.944	7.184	7.392	112.336	7.984	8.296	8.656	9.008	9.416
Ahorro de costos de Operación			219.545	226.783	234.020	241.259	248.497	255.735	262.973	270.212	277.450	284.688
Ahorro de Tiempos de Viaje			11.969	12.397	12.823	13.249	13.676	14.103	14.530	14.956	15.383	15.810
Reducción Costo Accidentes		3.125	-1.514	-6.152	-10.790	-15.428	-20.066	-24.704	-29.342	-33.980	-38.618	-43.256
Ahorro Conservación		0	12.104	13.232	14.400	15.680	-28.992	18.488	20.048	21.720	23.536	25.472
Ingreso Total		3.125	242.105	246.261	250.454	254.761	213.116	263.623	268.210	272.909	277.752	282.715
Inversión inicial		1.917.000										
FLUJO CAJA SOCIAL		-1.913.876	242.105	246.261	250.454	254.761	213.116	263.623	268.210	272.909	277.752	282.715
VAN		-207493,5689										
Tasa descuento		8,0%										
TIR		5,6%										

1 Valores en miles de pesos

2 Valor de los costos de operación, tiempo de viaje y conservación se desprenden de los resultados de la modelación en HDM-III, para los antecedentes de la obra principal de la situación actual y con el proyecto realizado.

3 Valor del costo de accidentes se desprende de la extrapolación lineal de la curva "Variación del costo social anual de accidentes", para la situación actual y con el proyecto.

4 Ahorro de costos corresponde a la diferencia de costos respectivos entre la situación sin proyecto y con proyecto.

5 Beneficio total equivalente a la suma de los ahorros de costos para un mismo período.

6
$$VAN = \sum_t \frac{Flujo_t}{(1+r)^t}$$



Gráfico 5.1.6.5.1. Variación de flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial.

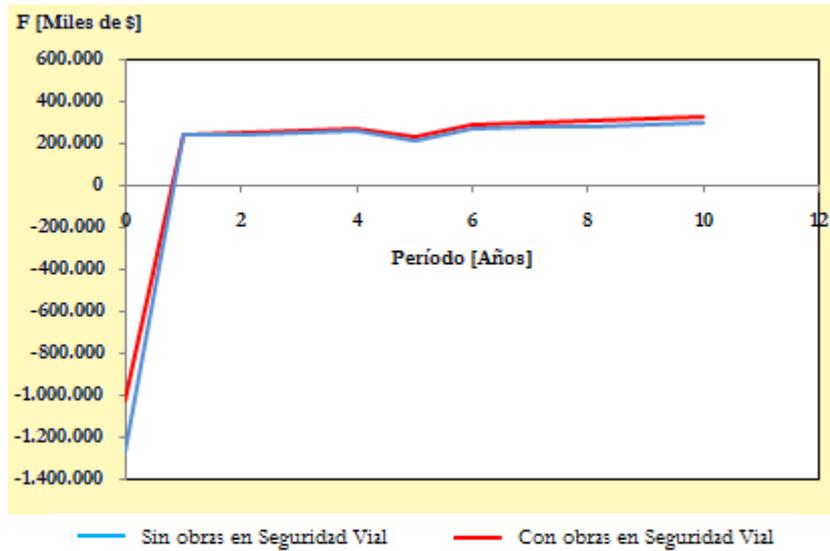


Tabla 5.1.6.5.2. Indicadores del proyecto

Indicador	Valor	Observaciones
RI	0,47	Menor a 1,0 proyecto reduce los ingresos disponibles debido al aumento de la inversión y a los “insuficientes” beneficios de las obras en Seguridad Vial
IRSV	-0,09	Menor a 1,0 el beneficio de las obras anexas no compensa positivamente el costo de accidentes inicial de la ruta.
ICP	0,68	Un ICP menor a 1,0 indica que el proyecto no está traspasando los costos extras de implementación en beneficios por reducción de la tasa de accidentes.

5.1.7 Mejoramiento ruta 5 norte. Sector Domeyko – Vallenar. III Región.

5.1.7.1 Antecedentes generales de la obra principal.

El proyecto tiene contemplado la reposición del pavimento asfáltico y variaciones en el diseño geométrico caracterizados básicamente por la reducción de pendientes y aumento de los radios de curvatura, además de la habilitación de una nueva pista para vehículos lentos.

Tabla 5.1.7.1.1. Antecedentes geométricos generales.

	Tramo 1	
	Sin Proyecto	Con Proyecto
Pend. Subida [%]	2	1
Pend. Bajada [%]	2	1
Long. Subida [Km]	23	23
Long. Bajada [Km]	23	23
Curva Horiz.[Grad/Km]	175	50
Ancho calzada [Mts]	7	14

Fuente: Bibliografía Dirección de Vialidad.

Tabla 5.1.7.1.2. Variación de la rugosidad en todos el tramo de estudio.

Rugosidad	Sin proyecto	Con proyecto
IRI	8	3

Fuente: Bibliografía Dirección de Vialidad.

Tabla 5.1.7.1.3. Condición de Tránsito: Estimación de crecimiento del Tránsito medio diario anual TMDA linealmente con el tiempo.

Tipo de vehículo	TMDAo	Tasa crecimiento
Automóviles	744	3,7
Camionetas	546	2,1
Camiones Simples	295	2,8
Camiones Articulados	1194	3,5
Buses	279	4,1

TMDAo: Tránsito medio diario anual inicial [vehículos/día]

Tasa de crecimiento aplicada anualmente.

Fuente: Bibliografía Dirección de Vialidad.

5.1.7.2 Antecedentes generales obras anexas.

Tabla 5.1.7.2.1. Accidentes: Se expone el historial de accidentes entre el año 2004 y 2007.

Año	Accidentes	Fallecidos	Lesionados
2004	59	13	142
2005	71	16	274
2006	71	16	274
2007	85	5	190
Promedio	72	13	220

Fuente: Bibliografía Departamento de Seguridad Vial.

Tabla 5.1.7.2.2. Implementación de obras Anexas: A continuación se detallan las obras anexas consideradas en la evaluación de la Ruta 5 Norte.

Dm	Obra Anexa	Descripción General	Tasa de reducción[%]	Tipo
Toda la ruta	13.3	Demarcación de pavimento	-45	Accidentes con lesionados
	4.1	Implementación de Bermas	-8	Accidentes con lesionados
			-6	Todos los accidentes
	11.1	Reposición pavimento	-20	Accidentes con lesionados
			-19	Accidentes sin lesionados
	15.4	Implementación mediana	-12	Accidentes con lesionados
			-18	Accidentes sin lesionados
	1.1	Barreras de contención	-43	Fallecidos
			-30	Lesionados
			24	Tasa de accidentes
5 km	15.1	Aceras peatonales	-5	Accidentes con peatones
			-5	Accidentes con vehiculos
			-4	Todos los accidentes

5.1.7.3 Cálculo de beneficios de la obra principal.

El detalle se entrega conjuntamente con el beneficio de las obras anexas (que se explica a continuación), para evitar repetir información innecesaria.

5.1.7.4 Cálculo del beneficio de las obras anexas.

5.1.7.4.1 Costo social de accidentes sin proyecto:

Tabla 5.1.7.4.1.1. Distribución del número de accidentes por tipología:

Tasa accidentes	Categoría de Accidente					Total
Año	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Solo daño	Accidentes Sin Proyecto
2004	4,8	14,5	17,3	13,4	9,0	59
2005	5,7	17,4	20,8	16,2	10,8	71
2006	5,7	17,4	20,8	16,2	10,8	71
2007	6,9	20,9	24,9	19,3	13,0	85

Tabla 5.1.7.4.1.2. Número de Fallecidos y distribución de lesionados según nivel de lesión.

Tasa accidentes	Lesionados			Total	Fallecidos SP
Año	Leves	M. Graves	Graves	Lesionados SP	
2004	110,9	14,4	16,8	142	13
2005	213,9	27,7	32,3	274	16
2006	213,9	27,7	32,3	274	16
2007	148,4	19,2	22,4	190	5

Tabla 5.1.7.4.1.3. Costo social de accidentes sin proyecto:

Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	1047107	50
2005	1351522	65
2006	1351522	65
2007	681224	33

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio

5.1.7.4.2 Aplicación de los factores de reducción.

La aplicación del criterio de selección señalado en la metodología del Trabajo de Título permite desprender los siguientes factores de reducción:

Tabla 5.1.7.4.2.1. Factores de reducción utilizados.

	Δr [%]
Accidentes con lesionados	-45
Accidentes sin lesionados	-19
Fallecidos	-43
Lesionados	-30
Tasa de accidentes	-3
Accidentes con peatones	-0,5

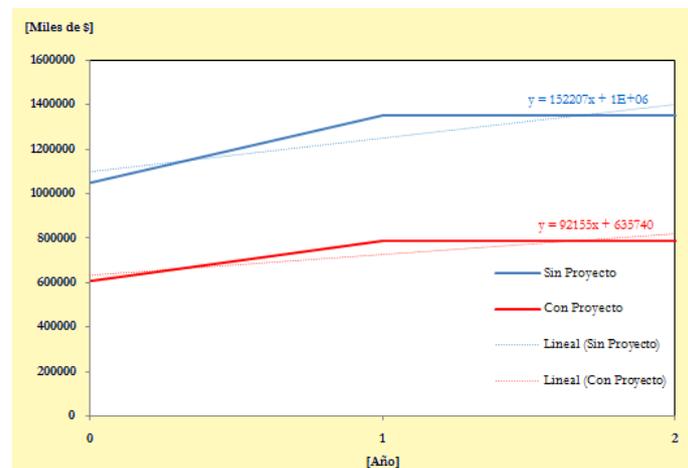
5.1.7.4.3 Costo social de accidentes con proyecto:

Tabla 5.1.7.4.3.1. Costo social de accidentes con proyecto.

Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	605022	29
2005	789332	38
2006	789332	38
2007	398778	19

*Valor Junio 2008 **UF 15 Junio de 2008

Gráfico 5.1.7.4.3.1. Variación del Costo Social Anual de Accidentes



5.1.7.5 Evaluación económica.

Tabla 5.1.7.5.1. Flujo de caja social para un período de evaluación equivalente a 10 años. Se expone la información para ambas situaciones y el cálculo del VAN del proyecto considerando las obras anexas en Seguridad Vial. (Detalle en pie de página).

CON OBRAS ANEXAS		Año										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sin Proyecto	Costo Operación		16.344.045	16.937.880	17.531.716	18.125.551	18.719.387	19.313.222	19.907.058	20.500.893	21.094.729	21.688.565
	Costo Viaje		9.264.152	9.586.544	9.908.936	10.231.328	10.553.720	10.876.112	11.198.504	11.520.896	11.843.288	12.165.680
	Costo Operacional Total		25.608.197	26.524.424	27.440.652	28.356.879	29.273.107	30.189.334	31.105.562	32.021.789	32.938.017	33.854.245
	Costo Accidentes	1.258.187	1.387.912	1.517.637	1.647.362	1.777.087	1.906.812	2.036.537	2.166.262	2.295.987	2.425.712	2.555.437
	Inversión Conservación	200.882	200.882	200.882	200.882	200.882	200.882	200.882	200.882	200.882	200.882	200.882
Con Proyecto	Costo Operación	0	11.460.526	11.878.263	12.295.999	12.713.735	13.131.471	13.549.208	13.966.944	14.384.680	14.802.417	15.220.153
	Costo Viaje	0	7.670.570	7.937.272	8.203.973	8.470.674	8.737.376	9.004.077	9.270.778	9.537.480	9.804.181	10.070.882
	Costo Operacional Total	0	19.131.096	19.815.535	20.499.972	21.184.409	21.868.847	22.553.285	23.237.722	23.922.160	24.606.598	25.291.035
	Costo Accidentes	723.998	800.416	876.834	953.252	1.029.670	1.106.088	1.182.506	1.258.924	1.335.342	1.411.760	1.488.178
	Inversión Conservación		52.900	52.900	52.900	52.900	52.900	52.900	52.900	52.900	52.900	52.900
	Ahorro de costos de Operación		4.883.519	5.059.617	5.235.717	5.411.816	5.587.916	5.764.014	5.940.114	6.116.213	6.292.312	6.468.412
	Ahorro de Tiempos de Viaje		1.593.582	1.649.272	1.704.963	1.760.654	1.816.344	1.872.035	1.927.726	1.983.416	2.039.107	2.094.798
	Reducción Costo Accidentes	534.189	587.496	640.803	694.110	747.417	800.724	854.031	907.338	960.645	1.013.952	1.067.259
	Ahorro Conservación	0	147.982	147.982	147.982	147.982	-347.392	147.982	147.982	147.982	147.982	147.982
	Ingreso Total	534.189	7.212.579	7.497.674	7.782.772	8.067.869	7.857.592	8.638.062	8.923.160	9.208.256	9.493.353	9.778.451
Inversión inicial	36.646.000											
FLUJO CAJA SOCIAL	-36.111.811	7.212.579	7.497.674	7.782.772	8.067.869	7.857.592	8.638.062	8.923.160	9.208.256	9.493.353	9.778.451	
VAN	19.353.946											
Tasa descuento	8,0%											
TIR	18,1%											

- 1 Valores en miles de pesos
- 2 Valor de los costos de operación, tiempo de viaje y conservación se desprenden de los resultados de la modelación en HDM-III, para los antecedentes de la obra principal de la situación actual y con el proyecto realizado.
- 3 Valor del costo de accidentes se desprende de la extrapolación lineal de la curva "Variación del costo social anual de accidentes", para la situación actual y con el proyecto.
- 4 Ahorro de costos corresponde a la diferencia de costos respectivos entre la situación sin proyecto y con proyecto.
- 5 Beneficio total equivalente a la suma de los ahorros de costos para un mismo período.

$$VAN = \sum_i \frac{\text{Flujo}_i}{(1+r)^i}$$



Gráfico 5.1.7.5.1. Variación de flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial.

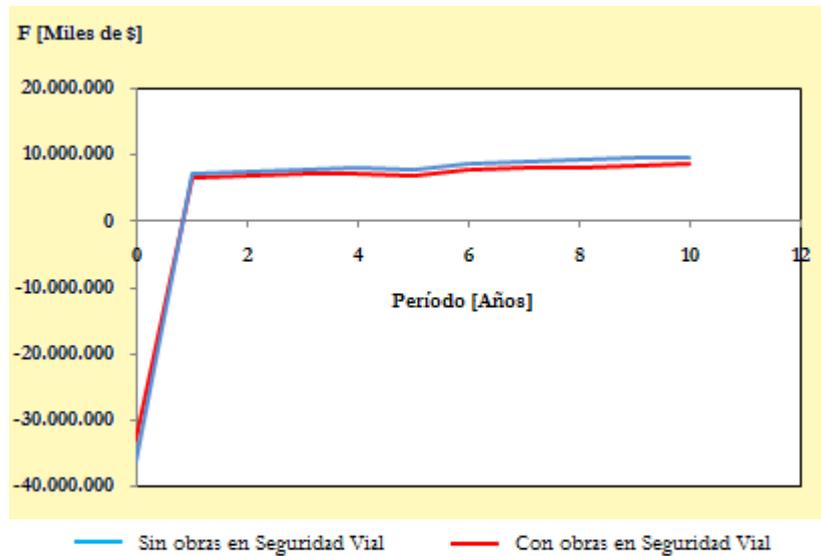


Tabla 5.1.7.5.2. Indicadores del proyecto.

Indicador	Valor	Observaciones
RI	1,02	Mayor a 1,0 proyecto genera suficientes beneficios para compensar incremento de la inversión.
IRSV	1,53	Mayor a 1,0 el beneficio de las obras anexas compensa positivamente el costo de accidentes inicial de la ruta.
ICP	1,07	Un ICP mayor a 1,0 indica que el proyecto esta traspasando efectivamente los costos extras de implementación en beneficios por reducción de la tasa de accidentes.

5.1.8 Mejoramiento ruta 5 sur. Sector Bifurcación Quemchi – Colonia Yungay. X Región.

5.1.8.1 Antecedentes generales de la obra principal.

El proyecto tiene contemplado la reposición del pavimento asfáltico y variaciones en el diseño geométrico caracterizados básicamente por la reducción de pendientes y aumento de los radios de curvatura, además de la habilitación de una nueva pista para vehículos lentos.

Tabla 5.1.8.1.1. Antecedentes geométricos generales de la Ruta 5 Sur

	Tramo 1	
	Sin Proyecto	Con Proyecto
Pend. Subida [%]	4	3
Pend. Bajada [%]	4	3
Long. Subida [Km]	1	1
Long. Bajada [Km]	1	1
Curva Horiz.[Grad/Km]	187	62
Ancho calzada [Mts]	7	11

Fuente: R&Q INGENIERIA S.A., “Estudio de Ingeniería Reposición Ampliación Ruta 5 Sur

Tabla 5.1.8.1.2. Variación de la rugosidad en todos el tramo de estudio.

Rugosidad	Sin proyecto	Con proyecto
IRI	8	3

Fuente: Valores Dirección de Vialidad.

Tabla 5.1.8.1.3. Condición de Tránsito: Estimación de crecimiento del Tránsito medio diario anual TMDA linealmente con el tiempo.

Tipo de vehículo	TMDAo	Tasa crecimiento
Automóviles	1108	3,7
Camionetas	475	2,1
Camiones Simples	348	2,8
Camiones Articulado	532	3,5
Buses	187	4,1

TMDAo: Tránsito medio diario anual inicial[vehículos/día]
Tasa de crecimiento aplicada anualmente.

Fuente: Bibliografía Dirección de Vialidad.

5.1.8.2 Antecedentes generales obras anexas.

Tabla 5.1.8.2.1. Accidentes: Se expone el historial de accidentes entre el año 2004 y 2007.

Año	Accidentes	Fallecidos	Lesionados
2004	23	9	37
2005	38	10	110
2006	24	10	37
Promedio	28	10	61

Fuente: Bibliografía Departamento de Seguridad Vial.

Tabla 5.1.8.2.2. Implementación de obras Anexas: A continuación se detallan las obras anexas consideradas en la evaluación de la Ruta 5 Sur.

Dm	Obra Anexa	Descripción General	Tasa de reducción[%]	Tipo
Toda la ruta	13.3	Demarcación de pavimento	-45	Accidentes con lesionados
	4.1	Implementación de Bermas	-8	Accidentes con lesionados
			-6	Todos los accidentes
	11.1	Reposición pavimento	-20	Accidentes con lesionados
			-19	Accidentes sin lesionados
	1.1	Barreras de contención	-43	Fallecidos
			-30	Lesionados
			24	Tasa de accidentes
	3.1	Habilitación de Pista lenta	-18	Accidentes con lesionados
			-20	Accidentes sin lesionados

5.1.8.3 Cálculo de beneficios de la obra principal.

El detalle se entrega conjuntamente con el beneficio de las obras anexas (que se explica a continuación), para evitar repetir información innecesaria.

5.1.8.4 Cálculo del beneficio de las obras anexas.

5.1.8.4.1 Costo social de accidentes sin proyecto:

Tabla 5.1.8.4.1.1. Distribución del número de accidentes por tipología:

Tasa accidentes	Tipo de Accidente					Total
Año	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Solo daño	Accidentes SP
2004	1,9	5,6	6,7	5,2	3,5	23
2005	3,1	9,3	11,1	8,6	5,8	38
2006	1,9	5,9	7,0	5,5	3,7	24

Tabla 5.1.8.4.1.2. Número de Fallecidos y distribución de lesionados según nivel de la lesión.

Tasa accidentes	Lesionados			Total	Fallecidos SP
Año	Leves	M. Graves	Graves	Lesionados SP	
2004	28,9	3,7	4,4	37	9
2005	85,9	11,1	13,0	110	10
2006	28,9	3,7	4,4	37	10
2007	0,0	0,0	0,0	0	0

Tabla 5.1.8.4.1.3. Costo social de accidentes sin proyecto:

Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	629806	30
2005	783916	37
2006	692333	33

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio 2008

5.1.8.4.2 Aplicación de los factores de reducción.

La aplicación del criterio de selección señalado en la metodología del Trabajo de Título permite desprender los siguientes factores de reducción:

Tabla 5.1.8.4.2.1. Factores de reducción utilizados.

	Δr [%]
Accidentes con lesionados	-45
Accidentes sin lesionados	-20
Fallecidos	-43
Lesionados	-30
Tasa de accidentes	-6



5.1.8.4.3 Costo social de accidentes con proyecto:

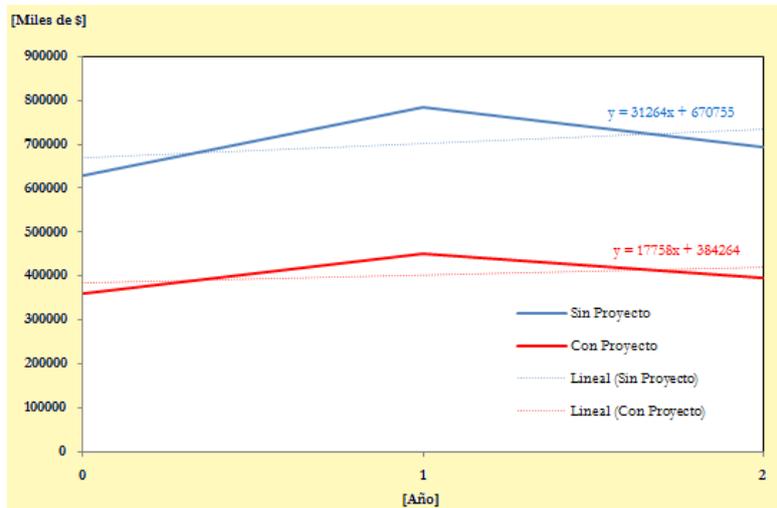
Tabla 5.1.8.4.3.1. Costo social de accidentes con proyecto.

Tasa accidentes	COSTO SOCIAL	COSTO SOCIAL
Año	TOTAL (Miles \$) *	TOTAL (Miles UF) **
2004	359375	17
2005	451798	22
2006	394890	19

*Valor Junio 2008

**UF 15 Junio 2008

Gráfico 5.1.8.4.3.1. Variación del Costo Social Anual de Accidentes



5.1.8.5 Evaluación económica

Tabla 5.1.8.5.1. Flujo de caja social para un período de evaluación equivalente a 10 años. Se expone la información para ambas situaciones y el cálculo del VAN del proyecto considerando las obras anexas en Seguridad Vial. (Detalle en pie de página).

CON OBRAS ANEXAS		Año										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sin Proyecto	Costo Operación		517.208	534.710	552.212	569.714	587.216	604.718	622.220	639.722	657.224	674.726
	Costo Viaje		340.506	352.245	363.985	375.724	387.463	399.203	410.942	422.681	434.421	446.160
	Costo Operacional Total		857.714	886.955	916.197	945.438	974.679	1.003.921	1.033.162	1.062.403	1.091.645	1.120.886
	Costo Accidentes	733.283	764.547	795.811	827.075	858.339	889.603	920.867	952.131	983.395	1.014.659	1.045.923
	Inversión Conservación	8.734	8.734	8.734	8.734	8.734	8.734	8.734	8.734	8.734	8.734	8.734
Con Proyecto	Costo Operación	0	362.145	374.521	386.897	399.273	411.649	424.025	436.400	448.776	461.152	473.528
	Costo Viaje	0	291.000	301.068	311.135	321.203	331.271	341.339	351.407	361.475	371.543	381.611
	Costo Operacional Total	0	653.145	675.589	698.032	720.476	742.920	765.364	787.807	810.251	832.695	855.139
	Costo Accidentes	419.780	402.022	419.780	437.538	455.296	473.054	490.812	508.570	526.328	544.086	561.844
	Inversión Conservación		2.300	2.300	2.300	2.300	23.838	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300
	Ahorro de costos de Operación		155.063	160.189	165.315	170.441	175.567	180.693	185.820	190.946	196.072	201.198
	Ahorro de tiempos de Viaje		49.506	51.177	52.850	54.521	56.192	57.864	59.535	61.206	62.878	64.549
	Ahorro costo Accidentes	313.503	362.525	376.031	389.537	403.043	416.549	430.055	443.561	457.067	470.573	484.079
	Ahorro Conservación	0	6.434	6.434	6.434	6.434	-15.104	6.434	6.434	6.434	6.434	6.434
	Ingreso Total	313.503	573.528	593.831	614.136	634.439	633.204	675.046	695.350	715.653	735.957	756.260
	Inversión inicial	350.000										
	FLUJO CAJA SOCIAL	-36.497	573.528	593.831	614.136	634.439	633.204	675.046	695.350	715.653	735.957	756.260
	VAN	4.324.687										
Tasa descuento	8,0%											
TIR	1575,0%											

- 1 Valores en miles de pesos
- 2 Valor de los costos de operación, tiempo de viaje y conservación se desprenden de los resultados de la modelación en HDM-III, para los antecedentes de la obra principal de la situación actual y con el proyecto realizado.
- 3 Valor del costo de accidentes se desprende de la extrapolación lineal de la curva "Variación del costo social anual de accidentes", para la situación actual y con el proyecto.
- 4 Ahorro de costos corresponde a la diferencia de costos respectivos entre la situación sin proyecto y con proyecto.
- 5 Beneficio total equivalente a la suma de los ahorros de costos para un mismo período.

$$VAN = \sum_i \frac{Flujo_i}{(1+r)^i}$$

Gráfico 5.1.8.5.1. Variación de flujo en el período de evaluación incorporando el beneficio de las obras anexas en Seguridad Vial.

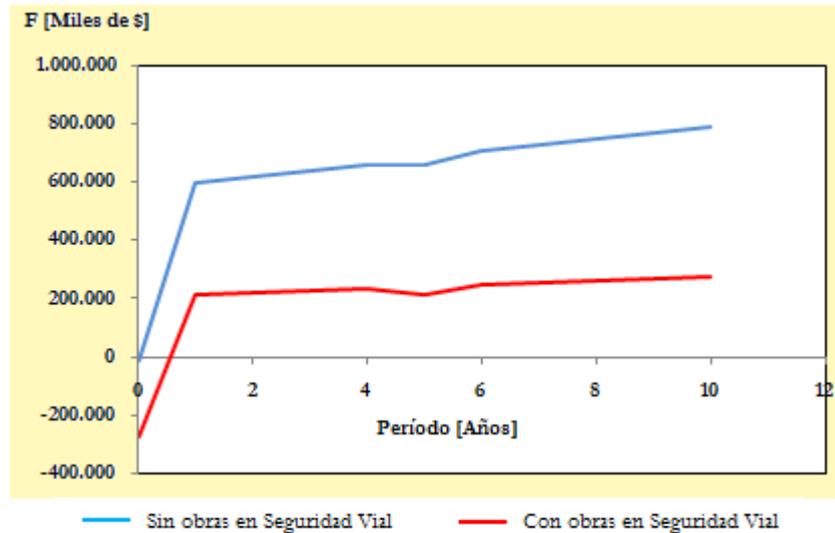


Tabla 5.1.8.5.2. Indicadores del proyecto.

Indicador	Valor	Observaciones
RI	2,65	Mayor a 1,0 proyecto genera suficientes beneficios para compensar incremento de la inversión.
IRSV	1,30	Mayor a 1,0 el beneficio de las obras anexas compensa positivamente el costo de accidentes inicial de la ruta.
ICP	1,77	Un ICP mayor a 1,0 indica que el proyecto esta traspasando efectivamente los costos extras de implementación en beneficios por reducción de la tasa de accidentes.

5.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS INDICADORES

5.2.1. Variación del beneficio de las obras anexas para un rango de dispersión de la tasa de accidentes.

Ruta 60 Ch	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error[%]
ΔB acc	0,876	0,950	1,000	1,050	1,124	12,421
ΔB fall	0,657	0,863	1,000	1,137	1,343	34,255
ΔB les	0,967	0,987	1,000	1,013	1,033	3,324

Ruta 215 Ch	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error[%]
ΔB acc	0,92	0,97	1,000	1,03	1,08	7,919
ΔB fall	0,623	0,849	1,000	1,151	1,377	37,731
ΔB les	0,956	0,983	1,000	1,017	1,044	4,351

Ruta 5 Chiloé	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error[%]
ΔB acc	0,91	0,96	1,000	1,04	1,09	9,108
ΔB fall	0,618	0,847	1,000	1,153	1,382	38,204
ΔB les	0,973	0,989	1,000	1,011	1,027	2,688

Ruta 199 Ch	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error[%]
ΔB acc	0,528	0,811	1,000	1,189	1,472	47,155
ΔB fall	0,977	0,991	1,000	1,009	1,023	2,264
ΔB les	0,994	0,998	1,000	1,002	1,006	0,581

Ruta R-42	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error[%]
ΔB acc	0,593	0,837	1,000	1,163	1,407	40,740
ΔB fall	0,931	0,972	1,000	1,028	1,069	6,884
ΔB les	0,976	0,990	1,000	1,010	1,024	2,376

Ruta R-89	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error[%]
ΔB acc	0,500	0,800	1,000	1,200	1,500	50,000
ΔB fall	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000
ΔB les	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000

Ruta 5 Norte	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error[%]
ΔB acc	0,883	0,953	1,000	1,047	1,117	11,679
ΔB fall	0,667	0,867	1,000	1,133	1,333	33,291
ΔB les	0,950	0,980	1,000	1,020	1,050	5,029

Ruta 5 Sur	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error[%]
ΔB acc	0,934	0,974	1,000	1,026	1,066	6,589
ΔB fall	0,586	0,834	1,000	1,166	1,414	41,393
ΔB les	0,980	0,992	1,000	1,008	1,020	2,018

Error ΔB acc	23,2%
Error ΔB fal	24,3%
Error ΔB les	2,5%
Error promedio	16,7%

5.2.2. Variación del indicador RI para un rango de dispersión de la tasa de accidentes.

Ruta 60 Ch	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
RI acc	1,106	1,116	1,123	1,130	1,139	1,496
RI fall	1,075	1,103	1,123	1,142	1,170	4,240
RI les	1,118	1,121	1,123	1,124	1,127	0,374

ε promedio 2,037

Ruta 215 Ch	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
RI acc	0,914	0,915	0,917	0,918	0,920	0,346
RI fall	0,902	0,911	0,917	0,923	0,932	1,644
RI les	0,915	0,916	0,917	0,917	0,918	0,173

ε promedio 0,721

Ruta 5 Chiloé	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
RI acc	3,943	4,224	4,450	4,675	4,956	11,392
RI fall	2,309	3,605	4,450	5,294	6,590	48,099
RI les	4,281	4,393	4,450	4,506	4,619	3,797

ε promedio 21,096

Ruta 199 Ch	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
RI acc	1,138	1,288	1,390	1,493	1,643	18,157
RI fall	1,380	1,385	1,390	1,396	1,401	0,773
RI les	1,385	1,390	1,390	1,390	1,396	0,386

ε promedio 6,439

Ruta R-42	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
RI acc	0,798	0,801	0,802	0,804	0,806	0,486
RI fall	0,802	0,802	0,802	0,803	0,803	0,083
RI les	0,802	0,802	0,802	0,802	0,803	0,024

ε promedio 0,198

Ruta R-89	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
RI acc	0,507	0,482	0,466	0,449	0,424	-8,967
RI fall	0,466	0,466	0,466	0,466	0,466	0,000
RI les	0,466	0,466	0,466	0,466	0,466	0,000

ε promedio -2,989

Ruta 5 Norte	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
RI acc	0,978	1,000	1,015	1,031	1,052	3,634
RI fall	0,914	0,975	1,015	1,055	1,117	9,994
RI les	1,000	1,009	1,015	1,021	1,031	1,514

ε promedio 5,047

Ruta 5 Sur	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
RI acc	2,515	2,591	2,648	2,705	2,781	5,013
RI fall	2,583	2,662	2,722	2,781	2,861	5,095
RI les	2,697	2,782	2,846	2,910	2,995	5,224

ε promedio 5,111

Error RI acc	3,9%
Error RI fall	8,7%
Error RI les	1,4%
Error promedio	4,7%

5.2.3. Variación del Indicador IRSV para un rango de dispersión de la tasa de accidentes.

Ruta 60 Ch	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
IRSV acc	1,098	1,178	1,235	1,291	1,369	10,988
IRSV fall	0,839	1,075	1,235	1,391	1,608	31,156
IRSV les	1,201	1,223	1,235	1,246	1,269	2,747

ε promedio 14,963

Ruta 215 Ch	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
IRSV acc	1,048	1,103	1,136	1,169	1,224	7,753
IRSV fall	0,713	0,970	1,136	1,301	1,550	36,832
IRSV les	1,092	1,114	1,136	1,158	1,180	3,877

ε promedio 16,154

Ruta 5 Chiloé	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
IRSV acc	1,250	1,294	1,328	1,361	1,400	5,662
IRSV fall	0,959	1,195	1,328	1,446	1,605	24,364
IRSV les	1,302	1,319	1,328	1,336	1,352	1,885

ε promedio 10,637

Ruta 199 Ch	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
IRSV acc	0,265	0,374	0,438	0,496	0,572	34,993
IRSV fall	0,431	0,435	0,438	0,441	0,444	1,466
IRSV les	0,435	0,438	0,438	0,438	0,441	0,733

ε promedio 12,397

Ruta R-42	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
IRSV acc	0,254	0,361	0,429	0,497	0,603	40,581
IRSV fall	0,399	0,416	0,429	0,442	0,459	6,928
IRSV les	0,421	0,425	0,429	0,433	0,438	1,980

ε promedio 16,496

Ruta R-89	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
IRSV acc	-0,042	-0,068	-0,086	-0,105	-0,134	53,284
IRSV fall	-0,086	-0,086	-0,086	-0,086	-0,086	0,000
IRSV les	-0,086	-0,086	-0,086	-0,086	-0,086	0,000

ε promedio 17,761

Ruta 5 Norte	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
IRSV acc	1,365	1,464	1,533	1,602	1,697	10,838
IRSV fall	1,061	1,351	1,533	1,711	1,976	29,831
IRSV les	1,464	1,505	1,533	1,561	1,602	4,515

ε promedio 15,061

Ruta 5 Sur	r -50%	r -20%	r	r +20%	r +50%	Error [%]
IRSV acc	1,263	1,283	1,298	1,311	1,329	2,535
IRSV fall	1,263	1,283	1,298	1,311	1,329	2,535
IRSV les	1,263	1,283	1,298	1,311	1,329	2,535

ε promedio 2,535

Error IRSV acc	20,8%
Error IRSV fall	16,6%
Error IRSV les	2,3%
Error promedio	13,3%



5.2.4. Impacto en la variación porcentual del VAN para un rango de dispersión del monto de inversión total.

Ruta 60 Ch	Io -50%	Io -20%	Io	Io +20%	Io +50%	Error[%]
$\Delta VAN/VAN_o$	0,226	0,238	0,247	0,258	0,279	0,027

Ruta 215 Ch	Io -50%	Io -20%	Io	Io +20%	Io +50%	Error[%]
$\Delta VAN/VAN_o$	0,028	0,023	0,019	0,014	0,007	-0,011

Ruta 5 Chiloé	Io -50%	Io -20%	Io	Io +20%	Io +50%	Error[%]
$\Delta VAN/VAN_o$	0,980	1,706	4,562	-4,234	-0,854	-0,917

Ruta 199 Ch	Io -50%	Io -20%	Io	Io +20%	Io +50%	Error[%]
$\Delta VAN/VAN_o$	0,468	0,513	0,551	0,596	0,685	0,109

Ruta R-42	Io -50%	Io -20%	Io	Io +20%	Io +50%	Error[%]
$\Delta VAN/VAN_o$	0,007	0,005	0,003	0,001	-0,001	-0,004

Ruta R-89	Io -50%	Io -20%	Io	Io +20%	Io +50%	Error[%]
$\Delta VAN/VAN_o$	-0,161	-0,284	-0,418	-0,642	-1,544	-0,692

Ruta 5 Norte	Io -50%	Io -20%	Io	Io +20%	Io +50%	Error[%]
$\Delta VAN/VAN_o$	0,120	0,123	0,128	0,139	0,546	0,213

Ruta 5 Sur	Io -50%	Io -20%	Io	Io +20%	Io +50%	Error[%]
$\Delta VAN/VAN_o$	2,402	2,557	2,310	2,111	2,225	-0,088

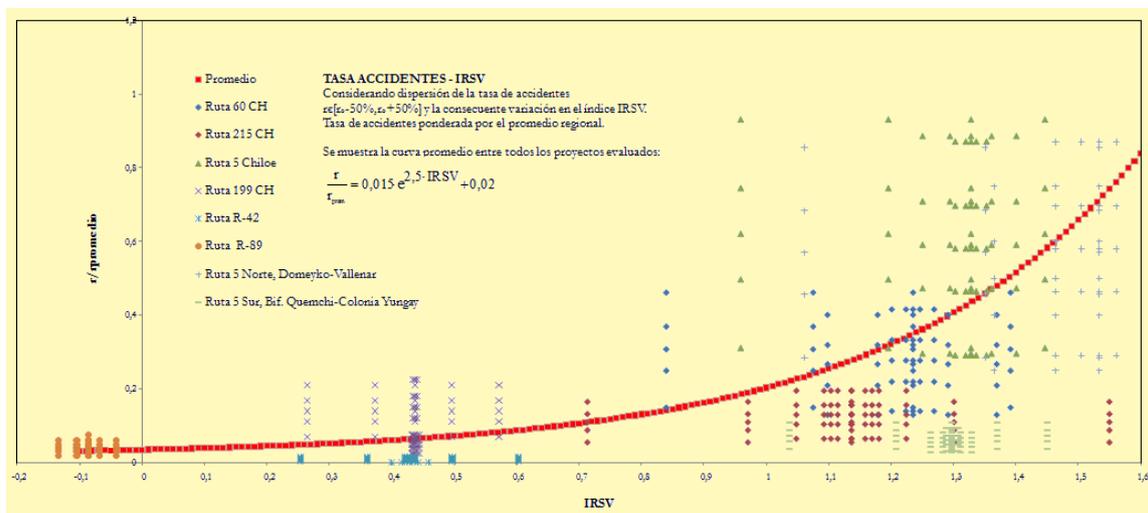
Error $\Delta VAN/VAN_o$	-17,1%
--------------------------	--------

5.3. RESUMEN DE RESULTADOS

5.3.1. Relación entre la tasa de accidentes y el índice de rentabilidad de la seguridad vial IRSV.

Se estableció una dispersión para la tasa de accidentes y la consecuente variación del indicador IRSV, información expuesta en el análisis de sensibilidad del punto 5.2. La muestra de dicha información para todos los proyectos de mejoramiento, en tramos con diferentes tasas de accidente y con distintos montos de inversión, permite obtener una nube de puntos dispersos según la variabilidad del proyecto pero con una tendencia promedio clara.

Gráfico 5.3.1.1. Tasa accidentes r/r^* – Índice de rentabilidad de la seguridad vial IRSV (*)

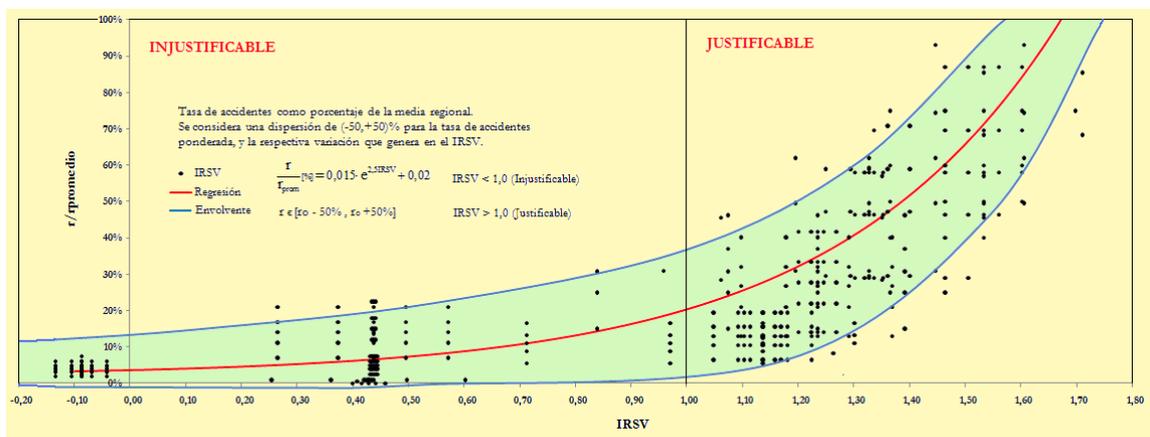


(*) Tasa de accidentes ponderada por la media regional.

5.3.2. Banda de tendencia r/r^* - IRSV.

El grado de incertidumbre en los valores de la tasa de accidentes y los montos de inversión, hacen necesario establecer una banda de valores.

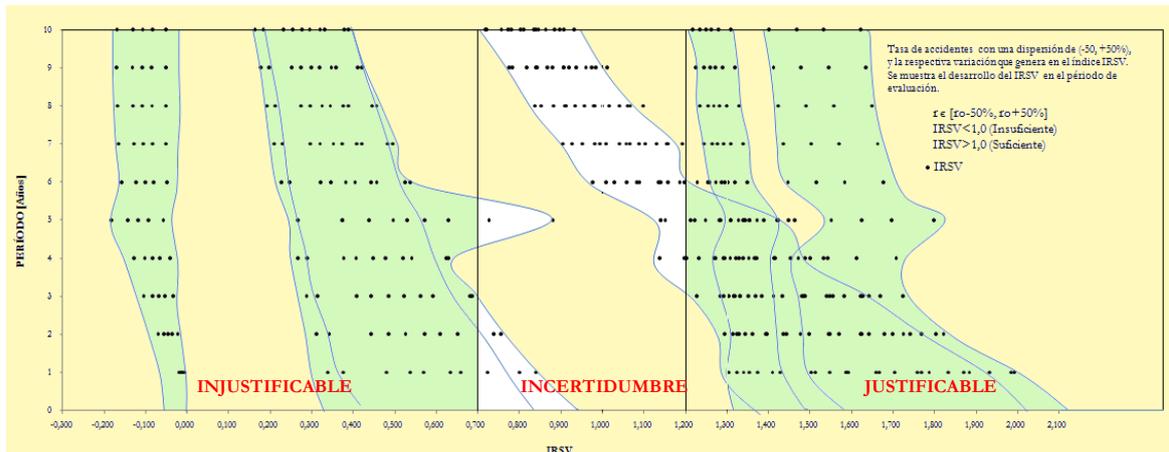
Gráfico 5.3.2.1. Tasa de accidentes r/r^* – Índice de rentabilidad de la seguridad vial IRSV



5.3.3. Variación del IRSV en el período de evaluación considerando dispersión en la tasa de accidentes.

El indicador IRSV graficado según su dispersión y su tendencia en el horizonte de evaluación permite segregar los proyectos en tres categorías de acuerdo al comportamiento en los primeros 5 años de vida de los proyectos.

Gráfico 5.3.3.1. Índice de rentabilidad de la seguridad vial IRSV – Período de evaluación (*)

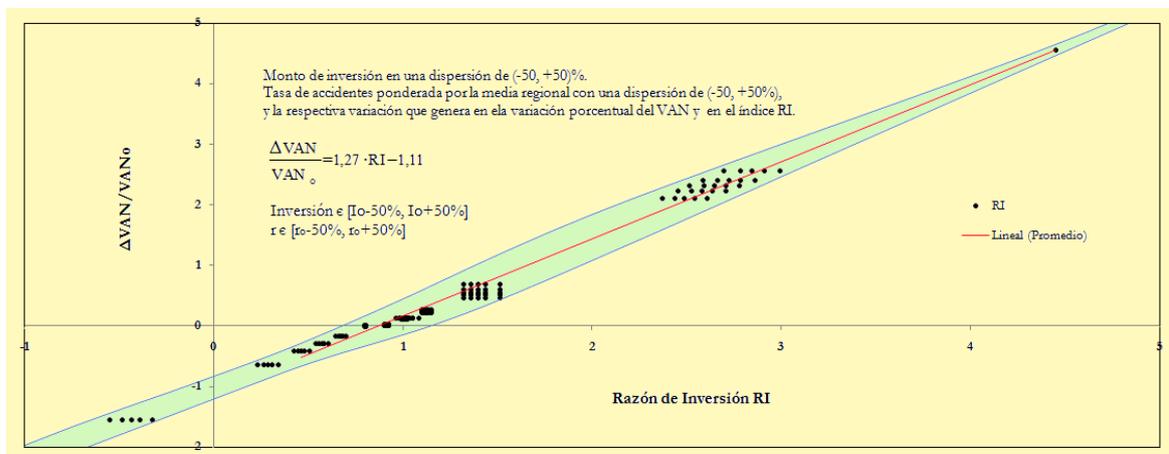


(*) La variación del IRSV se atribuye a la actualización de precios en el tiempo.

5.3.4. Relación entre la variación de recursos generados y la razón de inversión RI.

La razón de inversión de cada proyecto es graficada en función del incremento porcentual del Valor Actual Neto, con la variación respectiva de ambos ejes con el monto de inversión total.

Gráfico 5.3.4.1. Variación porcentual VAN – Razón de inversión RI



El análisis en detalle se efectúa en el capítulo 7, “Discusión y Conclusiones”.



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Trabajo de Título



CAPÍTULO 6:

TENDENCIAS MUNDIALES EN SEGURIDAD VIAL

Análisis de criterios de decisión para la inversión en obras de Seguridad Vial en Proyectos de Mejoramiento y Rehabilitación de rutas interurbanas.

6.1. ASPECTOS GENERALES DEL DISEÑO VIAL, CON ENFOQUE EN LA SEGURIDAD DE LAS RUTAS, REALIZADO EN EUROPA Y EE.UU.

En los últimos años la seguridad vial ha adquirido una importancia preponderante en cuanto a la elevada cantidad de recursos que debe administrar el Estado como consecuencia del tratamiento de los accidentes de tránsito. Lo que ha llevado a tomar medidas de índole preventiva, siempre en un marco analítico cualitativo del posible riesgo para los usuarios del camino.

Precisamente se han establecido índices de calificación de la peligrosidad de una ruta, en base a estudios estadísticos del número de accidentes por sección del camino, o por cantidad de usuarios en tránsito. Sin embargo, esto no deja de ser una característica bastante subjetiva, si se entiende que solo permite tener una idea de cuales caminos presentan un mayor riesgo de accidentabilidad, más aun, no representa una herramienta cuantitativa suficiente para la agencia vial cuando se quiere evaluar una posible inversión en seguridad vial, visto en cantidad de recursos que el Estado puede ahorrar por reducir el costo de accidentes.

En ese ámbito se ha enmarcado el problema en los últimos años. Alberto Bull establece en su documento “La gestión de seguridad vial y la acción de los organismos viales” (Junio 2007), la necesidad de procurar reducir la accidentalidad en magnitudes preestablecidas, mediante el mejoramiento de las condiciones de seguridad de las vías. Sin embargo, no implica desconocer que hay otros factores, diferentes de la vía, que generan accidentes y sobre los que también es necesario actuar. Lo importante es comprometer al Estado, induciendo una participación activa y cuantificable de los aspectos que pueden ser en cierta medida “controlables”.

Ante un planteamiento como el enunciado, surge de inmediato la duda de cuánta responsabilidad tiene la vía en la ocurrencia de accidentes. En general, cuando se estudian y clasifican las causas de los accidentes, las estadísticas chilenas muestran dispares tasas de accidentes en caminos similares, ubicados en zonas de parecidas condiciones poblacionales, geográficas, climáticas, de tránsito, etc. (Salazar, 2006). Sin entrar en un análisis más detallado, ello apunta a que en la gestación de los accidentes, las características de la vía tendrían un rol más acentuado que lo aparente. Así, el error humano se produciría con mayor facilidad en las vías más defectuosas desde el punto de vista de la seguridad.

La alta accidentalidad en América Latina y en los países en desarrollo hace presumir que es razonable esperar su reducción si se actúa sobre los caminos. Las tendencias mundiales apuntan, en efecto, a la construcción de vías más seguras, por la que los conceptos de seguridad deben estar ligados primero al adecuado diseño de la infraestructura vial. En este aspecto, el objetivo buscado en las últimas décadas ha sido que los diseños estén orientados a evitar la gravedad de accidentes, concepto que cuando es correctamente aplicado demuestra ser un elemento clave en la reducción del número de víctimas fatales. Sin embargo, no siempre existe la posibilidad razonable, técnica y/o económica, de resolver las situaciones de riesgo a través de una intervención en el diseño,



en estos casos el criterio utilizado en los países de avanzada, ha sido proyectar, mediante directrices y recomendaciones específicas, todos los elementos de seguridad que se requieran, entre ellos los más importantes son los sistemas de contención y mantención de caminos en cuanto a la eliminación de obstáculos y/o distorsiones a la visual de los conductores, para lograr el objetivo de prevenir y proteger a los usuarios de las zonas o puntos peligrosos de las vías, entendiéndose por usuarios a todos los agentes sociales que utilicen la vía de transporte.

Las especificaciones de diseño recomendadas a la fecha en el ámbito del diseño vial, corresponden a los patrones usados y aceptados principalmente en EE.UU. y Europa, ya que las soluciones de Seguridad Vial implementadas en ambas realidades, están respaldadas por una constante investigación y por la experiencia de las aplicaciones prácticas que se han desarrollado. Además, tanto los elementos utilizados como las técnicas de selección y prueba son bastantes coincidentes. Entre ellas se puede nombrar el reporte 230 de la NCHRP, el cual reguló hasta hace algunos años los procedimientos de ensayo en pruebas de impacto real en EE. UU., además de la normativa europea EN-1317, la cual regula los ensayos de impacto real en Europa. También son bastante utilizados los ensayos de pruebas reales de impacto, en base a información de condiciones y resultados de la AASHTO y de la F.H.W.A. del Departamento de Transporte de EE.UU. Los estudios definen las recomendaciones de diseño de elementos de contención que se han adoptado para su aplicación en la elaboración de proyectos de carreteras, tanto para el caso de rehabilitación o mejoramiento de vías existentes como para el caso de vías nuevas.

Los avances hasta la fecha incluyen el modo de abordar el diseño, en cuanto a la selección de los dispositivos hasta los criterios para determinar el emplazamiento o ubicación de los elementos en la vía, de acuerdo a las situaciones o condiciones del lugar.

Como puede desprenderse, las tendencias para abordar el tema en países desarrollados, coinciden en que es necesario hacer una inversión en dispositivos de seguridad vial, ante lo cual se han generado múltiples avances en cuanto al perfeccionamiento de elementos de contención y otras obras anexas, no obstante, considerando los recursos limitados de países como el nuestro, se hace necesario establecer metodologías de evaluación, que permitan al agente encargado aprobar la inversión mediante la posibilidad de lograr cuantificar los beneficios monetarios que tiene su implementación.

Al respecto una de las herramientas más potentes es la metodología desarrollada por Hezra Hauer, en que precisamente cuantifica el impacto de obras anexas en la seguridad vial. Los resultados concretados por Hauer son la base del presente trabajo de título, y permiten desprender herramientas adicionales que complementen a las metodologías de evaluación de proyectos viales actuales, pero prestando una especial atención a la Seguridad Vial de las rutas.

Si bien es cierto, existen elementos complementarios de los que dependen los resultados efectivos de la implementación de obras en seguridad vial, como el comportamiento de los usuarios o las medidas educativas efectuadas por las autoridades, las

normativas de diseño actuales y las metodologías de evaluación de su impacto en la seguridad de la ruta siguen siendo herramientas bastante potentes, y su utilización puede



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Trabajo de Título

tener resultados provechosos para el incentivo del agente vial a la inversión en seguridad vial.

Cabe señalar, que mundialmente se ha reconocido la necesidad de una visión más integradora del problema, reconocer la interrelación entre todos los agentes sociales involucrados en la obra caminera, principalmente porque cumple una función trascendental en la movilidad regional. Por lo tanto, se establece que el horizonte del problema no es sólo el mejoramiento tecnológico de las rutas, sino también de manera especial, la concepción que se tiene de un camino al momento de realizar la evaluación y establecer criterios para la aprobación de proyectos de mejoramientos, con especial atención en aquellos que incluyen en su plan presupuestario la incorporación de obras anexas.



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Trabajo de Título



CAPÍTULO 7:

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

7.1. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Efectivamente los beneficios generados por reducción de la tasa de accidentes representa una fracción minoritaria del beneficio total generado en un proyecto de mejoramiento, más aun, la rentabilidad del proyecto es altamente sensible a la reducción de los costos operacionales y en menor medida al ahorro de los tiempos de viaje, mientras que el beneficio de implementación de obras anexas en algunos casos no supera el 5% del beneficio total. Por lo tanto, se corrobora que es estrictamente necesario no vincular la variable tasa de accidentes directamente con el resto de la evaluación, pues es posible perder el sentido del análisis. Luego, se recomienda interpretar el impacto de la seguridad vial solo como un complemento a la evaluación convencional y no como un aspecto restrictivo en términos de incremento de la inversión.

En este marco conceptual se aprecia que el índice de rentabilidad de la seguridad vial IRSV, es válido en términos de presentar un incremento en función de la tasa de accidentes ponderada por el promedio regional, es decir, efectivamente en las rutas que presentan un mayor índice de accidentabilidad, la inversión en obras de seguridad vial tiene un mayor impacto en la reducción de la tasa de accidentes. Este punto es de vital importancia, debido a que representa el alma del Trabajo de Título. Por lo tanto, es posible exponer a un agente evaluador de manera concreta esta relación a veces entendida sólo de manera empírica pero esta vez a través de un documento que lo corrobora. (Ver gráficos 5.3.1.1 - 5.3.2.1).

El indicador IRSV tiene una segregación clara entre proyectos ubicados en los rangos $IRSV < 0,7$ y $1,2 < IRSV$ en un período de evaluación de 10 años, dejando un margen de incertidumbre asociable a la dispersión que presenta el indicador para una variabilidad de la tasa de accidentes ponderada entre -50% y +50% de su valor. Esto debido a que no se tenía certeza de la validez de la tasa de accidentes de la ruta respectiva, como equivalente al tramo de la ruta en que se evalúa el proyecto de mejoramiento, por lo tanto, ante un cierto nivel de incertidumbre es conveniente realizar un análisis de sensibilidad del indicador, en este caso variando la tasa de accidentes entre en el rango comentado, y verificando el grado de variación que presenta el indicador como función de la tasa de accidentes. El error promedio encontrado es cercano al 13% con respecto al valor sin variación (Ver gráfico 5.3.4.1 - Tabla 5.2.3).

Cabe señalar, que la variabilidad de la tasa de accidentes supone un cambio inmediato en el beneficio de las obras anexas, por lo tanto la evaluación económica también sufrirá una variación y con ello finalmente el índice IRSV, por lo que en el gráfico final se aprecia una banda de valores con tendencia según la expresión deducida y expuesta.

Luego, es posible aceptar proyectos que se encuentren en el límite de su aprobación, en el caso de tener un $IRSV > 1,2$, o visto de otra manera, en aquellos casos en que el beneficio de las obras anexas ponderado por el beneficio total sea mayor en al menos un 20% al costo de accidentes de la ruta ponderado por el costo total.

Cabe resaltar, que no es conveniente vincular este indicador con el resto de la evaluación, no indica si el proyecto sigue siendo rentable, sólo entrega de manera tangible el grado de importancia que tiene la inversión en obras de seguridad vial para el proyecto en vista del número de accidentes registrados previo a la puesta en marcha del proyecto.

El indicador Razón de inversión RI, como evaluador de la capacidad del proyecto para generar suficientes recursos, que permitan compensar el incremento de la inversión por implementación de obras en seguridad vial, se valida en razón de variar proporcionalmente con el incremento porcentual del valor presente neto VAN del proyecto, es decir, efectivamente un valor mayor del RI tendrá sustento en el incremento de los recursos disponibles para el Estado. Más aún, es conveniente la utilización del indicador debido a su normalización, y su punto crítico $RI=1,0$ permite separar directamente la condición en que queda el proyecto después de incorporar obras anexas en la evaluación (Ver gráfico 5.3.3.1).

Así como existe incertidumbre acerca de la validez de extrapolar la tasa de accidentes al tramo en estudio, también se presentó la duda en relación a los montos de inversión disponible en la bibliografía que posteriormente fueron utilizados en las evaluaciones. Pues bien, se decidió considerar un rango de variación para la inversión total entre -50% y +50% de su valor, para hacer el análisis correspondiente de dispersión del indicador para una inversión en el rango dado, por lo que se muestra una banda de valores en el gráfico respectivo. Se encontró un error cercano al 4% con respecto al valor sin variación (Ver tabla 5.2.2).

La razón de inversión no permite vislumbrar cuantos recursos extras está generando el proyecto, sino más bien, permite al evaluador notar si el proyecto genera ingresos suficientes como para compensar el aumento de la inversión. En este sentido se insiste en la necesidad de no confundir el espíritu de los indicadores, debido a que no están orientados a dar a conocer cuanto más gana el Estado por reducir la tasa de accidentes, ya que es un valor menor comparado con el resto de los beneficios, pero si se orientan en calificar los proyectos de seguridad vial en términos del nivel de importancia, y si estos tienen capacidad de pago, en consideración de los recursos limitados para la inversión de carácter pública.

Como antecedente secundario se propuso un indicador de compensación del proyecto ICP que evalúa la razón beneficio/costo considerando las obras anexas y sin ellas.

Los valores de ICP son bastante cercanos a los de RI, en efecto, para dos enfoques diferentes se obtienen resultados similares, sin embargo, no se aprecia una relación clara entre el ICP y alguna variable de interés, por lo que no es posible validarlo de la misma manera que RI.

Cabe destacar que el indicador RI tiene mayor sensibilidad a la variación del monto de inversión, mientras que el IRSV hace lo propio con la variación de la tasa de accidentes, lo que corrobora el enfoque de ambos índices.

A continuación se muestra el resumen de los criterios de decisión, que catalogan al proyecto en tres categorías diferentes:

Cuadro 7.1.1. Criterios de decisión propuestos.

$RI \geq 1,0$	$\left\{ \begin{array}{l} IRSV \geq 1,2 \\ 0,7 \leq IRSV \leq 1,2 \\ IRSV \leq 0,7 \end{array} \right.$	<p>Justificable</p> <p>Justificable</p> <p>Inaceptable</p>
$IRSV \geq 1,0$	$\left\{ \begin{array}{l} RI \geq 1,0 \\ 0,8 \leq RI \leq 1,0 \\ RI \leq 0,8 \end{array} \right.$	<p>Justificable</p> <p>Aceptable</p> <p>Inaceptable</p>
$IRSV \leq 1,0$	$\left\{ \begin{array}{l} RI \geq 1,0 \\ 0,8 \leq RI \leq 1,0 \\ RI \leq 0,8 \end{array} \right.$	<p>Aceptable</p> <p>Aceptable</p> <p>Inaceptable</p>
$RI \leq 1,0$	$\left\{ \begin{array}{l} IRSV \geq 1,2 \\ 0,7 \leq IRSV \leq 1,2 \\ IRSV \leq 0,7 \end{array} \right.$	<p>Aceptable</p> <p>Inaceptable</p> <p>Inaceptable</p>

La justificación de un proyecto de seguridad vial se valida de acuerdo a los beneficios que genera por la reducción de la tasa de accidentes, y porque garantiza que no verá disminuida la rentabilidad global del proyecto con el incremento de la inversión. Sin embargo, pasa a ser aceptable en aquellas evaluaciones que se encuentren en el límite de aprobación. Mientras que un proyecto es catalogado como inaceptable en caso de no cumplir con los requerimientos mínimos tanto de rentabilidad como de impacto de la seguridad vial en el marco general de evaluación.

7.2. CONSIDERACIONES GENERALES

- Cabe destacar, que además de la variabilidad en el monto de inversión y en la tasa de accidentes, existe un error intrínseco en los resultados entregados por HDM, debido al nivel de aproximación con que realiza la estimación de los costos operacionales, de tiempo de viaje, y de conservación, hasta deducir una curva lineal proyectada en el horizonte de evaluación, lo cual no es posible cuantificar pero si concientizar al evaluador del sesgo en los resultados, no obstante, en vista de los objetivos planteados en el Trabajo de Título, la información recopilada desde HDM es suficiente en el marco de análisis de verificación del el impacto de la seguridad vial en los estudios de pre factibilidad, sin ser necesario para ello entrar en demasiado detalle.
- Existen supuestos básicos en los que se ha fundamentado la utilización de la metodología planteada, como la ausencia de congestión vehicular en los tramos en estudio, por lo que no sería válida su utilización en rutas urbanas. Además se consideró el monto de inversión en obras anexas en un rango entre 10% y 20% del monto total de inversión.
- En más de una ocasión los antecedentes de los proyectos evaluados denotaron la incorporación de ciertas obras anexas cuyo impacto en la seguridad vial no ha sido cuantificado, luego no fue posible considerarlas en el análisis, por lo tanto, se hace imperioso continuar con los estudios desarrollados por Hauer expuestos en la metodología de la Secretaría de Transportes, que permitan considerar un mayor número de casos. Situación que debería ir avanzando en conjunto con el desarrollo de nuevas tecnologías, en particular, con los estudios que a la fecha se están realizando en países desarrollados.
- Se consideró una proyección lineal del costo social de accidentes en el horizonte de evaluación, correspondiente a una extrapolación de la regresión lineal del costo social entre 2004 y 2007. Sin embargo, es una alternativa elegida para facilitar el desarrollo del Trabajo de Título, no representa necesariamente la única opción. Cabe destacar, que el costo social de accidentes es mayormente sensible a la variación en la tasa de fallecidos, debido a los mayores costos involucrados. Se puede ver en el nivel de error en el análisis de beneficios de obras anexas para la variación de las tasas de accidentes, fallecidos y lesionados.
- Los resultados obtenidos en el presente trabajo, o más precisamente, cualquier análisis de beneficios de la seguridad vial calculados mediante la metodología de la Secretaría del Transporte, no puede tener completa validez sino se complementa con medidas



educativas de parte de las autoridades, cabe señalar, que el comportamiento de los usuarios atiende a situaciones en la mayoría de los casos ajenas a las condiciones de la vía, en efecto, el exceso de confianza, la posibilidad de que los accidentes migren de un lugar a otro o que incluso que la red de transporte alcance en ciertos períodos un equilibrio en la accidentabilidad global, podría significar que las obras en seguridad vial no tengan los efectos previstos. Por lo tanto, se requiere de un monitoreo y control durante la vida útil del proyecto, de este modo no sólo evaluar las posibles medidas a tomar en el mediano plazo, sino también recabar mayores antecedentes que validen la eficiencia de los dispositivos utilizados, el impacto de las nuevas tecnologías en seguridad vial implementadas, y así complementar las metodologías de evaluación vigentes, disminuir el error de los indicadores propuestos o la posibilidad de confeccionar otros que permitan en el futuro disponer al evaluador de una herramienta potente para el análisis de impacto de un proyecto en la seguridad vial, y de este modo retroalimentar este círculo que se fortalece en la medida que se valide un método de valoración de beneficios de obras anexas y con ello incentivar la inversión pública en proyectos de seguridad vial con una base sustentable.

7.3. RECOMENDACIONES

Hasta los últimos años la Seguridad Vial no ha tenido el suficiente énfasis en el sistema de evaluación social de proyectos viales, debido fundamentalmente al enfoque de las metodologías vigentes, orientado a analizar el impacto sólo sobre del tránsito vehicular, y a que las obras anexas generan un incremento en los costos del proyecto.

Se han desarrollado metodologías para su incorporación en la evaluación, pero lamentablemente no han generado los resultados esperados, principalmente por enfocar el análisis en una combinación del beneficio de las obras en Seguridad Vial con la herramienta de evaluación vigente de la obra principal. Cabe destacar, que en términos de rentabilidad no es posible comparar las obras anexas con la obra principal, y sólo intentar hacerlo genera un error en los resultados.

Se recomienda trabajar con ambas herramientas de manera independiente, y de este modo no alterar el sistema de evaluación actual y tener un antecedente extra para proyectos futuros. Principalmente en situaciones de proyectos que no están cumpliendo levemente con la rentabilidad esperada, y permita darle un impulso para una eventual aprobación.

Esta pauta con criterios de decisión complementa las metodologías de evaluación actuales y se recomienda su perfeccionamiento desde el punto de vista de la cantidad de proyectos necesarios para la calibración y precisión de la información utilizada. En este caso se realizaron ocho estudios de prefactibilidad, y se tomaron diversas consideraciones (ver punto 7.2) en función de la incertidumbre en ciertos datos. Por lo tanto, continuar en



esta dirección contando con un abanico de posibilidades, en cuanto a diferentes estándares de rutas, lugares geográficos, usos de las vías y principalmente diversas tasas de accidentes, permitiría reducir ostensiblemente el error en las estimaciones y calibrar los indicadores para concretar la validación y ser parte oficial de las metodologías de evaluación actuales.

Además se recomienda seguir profundizando en el trabajo realizado por la consultora CITRA, extendiendo su campo de aplicación a otros tipos de obras anexas, y tener a disposición el valor de reducción de la tasa de accidentes, lo cual es vital para la continuación del análisis presentado en el trabajo de título.

Finalmente, se requiere un constante programa de seguimiento y control durante toda la vida útil de las obras camineras. Realizando catastros anuales de la reducción de la tasa de accidentes y corroboración de los beneficios que se habían proyectado. De este modo, en base a análisis estadísticos, evaluar la aplicación de algún factor de ajuste a los indicadores que permitan ir actualizando esta herramienta.

Sin embargo, es necesario un cambio sustancial que va más allá de las herramientas técnicas. En efecto, se trata de la concepción del objetivo de un camino, el cuál para todos los efectos actualmente se visualiza como vía de transporte para vehículos motorizados, que por supuesto enmarca el horizonte de evaluación en la aceptación de proyectos que maximicen el ahorro de costos para los usuarios directos del camino (vehículos). Situación que dista mucho de su objetivo real, en los cuales tanto peatones, ciclistas, como vehículos motorizados son parte esencial de este sistema de transporte no solo en calidad de usuarios directos, sino también como quienes son víctimas de las externalidades asociadas a la construcción del camino (ruido, contaminación, accidentes, etc.). Al no estar considerados en el sistema de evaluación se pierde el sentido armónico que debe tener una vía para sus usuarios y con su entorno. Luego se requiere un vuelco en la forma de mirar el problema.

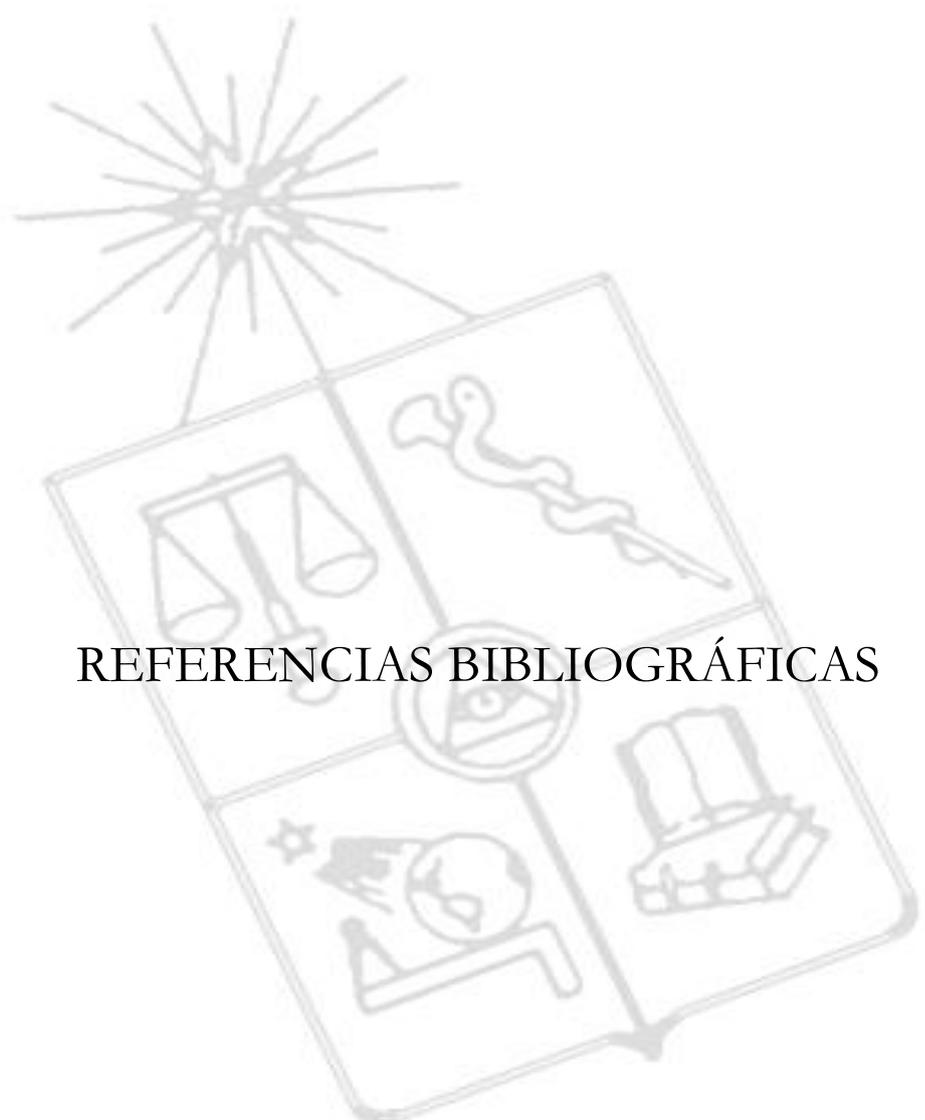
Para ello se requiere profundizar en la definición del estándar de un camino, en efecto, una ruta puede perfectamente ser considerada de alto estándar si cumple con los objetivos locales asociados a las necesidades de la comunidad. Es decir, que el camino sea visto en su naturaleza fundamental de integración y conexión, y no necesariamente para beneficio de los automovilistas. Cabe destacar, que una ruta que atiende a una alta demanda de peatones y ciclistas, sobre todo en sectores turísticos, muy difícilmente podría ser considerada en un plan de inversión pública, debido a que no existen las metodologías complementarias para su evaluación, en razón de no presentar un estándar mínimo, el cuál necesariamente debiera ser discutido. Sin duda alguna, este último punto adquiere gran relevancia, en virtud de haber cumplido con el último objetivo trazado, correspondiente al planteamiento del problema ante las autoridades correspondientes, y lograr poner en discusión este nuevo concepto en la evaluación de proyectos viales en conjunto con los profesores asesores, el cuál debiese ser tratado en el mediano plazo, y de este modo dar un paso adelante en el progreso del sistema nacional de inversión pública.



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Trabajo de Título



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Análisis de criterios de decisión para la inversión en obras de Seguridad Vial en Proyectos de Mejoramiento y Rehabilitación de rutas interurbanas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CITRA Consultores Ltda. *“Desarrollo de una metodología de valoración de beneficios de obras anexas de proyectos de vialidad interurbana”*, 2007, 115p.
2. CHILE. MINISTERIO de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Departamento de Seguridad Vial, *“Informe técnico accidentabilidad”*, Chile, versiones 2004, 2005, 2006 y 2007.
3. SCHLIESSLER, Andreas. y Bull, Alberto. 1993. *“Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales”*
4. CHILE. MINISTERIO de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Dirección General de Obras Públicas, *“Manual de Carreteras Vol. 1, Vol. 3 y Vol. 6” Chile*, 2002.
5. CONASET, *“Guía para realizar una auditoría de Seguridad Vial”*, Chile, 2003. 163p.
6. TRANSPORT AND ROAD RESEARCH LABORATORY, *“Hacia vías más seguras en países en desarrollo”*, Inglaterra, 1991. 216p.
7. AXIOMA Ingenieros Consultores, *“Estudio de ingeniería Reposición Ruta 215 Ch Sector: Bifurcación Aeropuerto Carlos Hott - CR Las Lumas, X Región”*, Santiago, Chile, 2008.
8. AXIOMA Ingenieros Consultores, *“Estudio de ingeniería Reposición Ruta 199 Ch, Sector: Puente Pitrahue – Puente El Piano, IX Región.”*, Santiago, Chile, 2008.
9. R8Q INGENIERÍA S.A., *“Estudio de Ingeniería, Ampliación Reposición Ruta 5 Chiloé, Sector: Bifurcación Puente Bicentenario – Bifurcación Pupelde”*, Santiago, Chile, 2007.
10. GS PROYECTOS DE INGENIERÍA S.A., *“Estudio de Ingeniería Mejoramiento Ruta R-42, Sector: Purén – Lumaco, Región de la Araucanía”*, Santiago, Chile, 2008.
11. R8Q INGENIERÍA S.A., *“Estudio de Ingeniería Reposición Ampliación Ruta 5 Sur, Sector: Bifurcación Quemchi – Colonia Yungay”*, Santiago, Chile, 2008.
12. R8Q INGENIERÍA S.A., *“Estudio de Ingeniería Mejoramiento integral Ruta 60 Ch, Sector: Los Andes – Túnel Cristo Redentor, V Región”*, Santiago, Chile, 2007.



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Trabajo de Título



ANEXOS.

**A. RESULTADOS EVALUACIÓN HDM-3**

MODELO HDM-III-Chile Versión Simplificada
COSTOS DE OPERACION Y TIEMPO DE VIAJE

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Nombre del proyecto : Mejoramiento Ruta 60 CH
Sector : SECTOR 1, SECTOR 3, SECTOR 5
Nombre de la Alternativa : Reposición Pavimento Asfalto

COSTOS TOTALES

Situación : Sin proyecto
 Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2007	0	0	0	122.276	0	0
2008	1	24.195.318	21.378.998	122.276	0	0
2009	2	25.075.616	22.182.203	122.276	0	0
2010	3	25.955.914	22.985.407	122.276	0	0
2011	4	26.836.211	23.788.611	122.276	0	0
2012	5	27.716.509	24.591.815	122.276	0	0
2013	6	28.596.807	25.395.019	122.276	0	0
2014	7	29.477.104	26.198.224	122.276	0	0
2015	8	30.357.402	27.001.428	122.276	0	0
2016	9	31.237.700	27.804.632	122.276	0	0
2017	10	32.117.997	28.607.836	122.276	0	0

Situación : Con proyecto
 Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2007	0	0	0	0	0	0
2008	1	18.070.009	20.504.571	32.200	0	0
2009	2	18.730.334	21.275.176	32.200	0	0
2010	3	19.390.660	22.045.781	32.200	0	0
2011	4	20.050.985	22.816.386	32.200	0	0
2012	5	20.711.311	23.586.991	333.732	0	0
2013	6	21.371.636	24.357.596	32.200	0	0
2014	7	22.031.962	25.128.201	32.200	0	0
2015	8	22.692.287	25.898.806	32.200	0	0
2016	9	23.352.613	26.669.411	32.200	0	0
2017	10	24.012.938	27.440.016	32.200	0	0



MODELO HDM-III-Chile Versión Simplificada
COSTOS DE OPERACION Y TIEMPO DE VIAJE

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Nombre del proyecto : Reposición Ruta 215 CH. X Región
Sector : SECTOR 1, SECTOR 2
Nombre de la Alternativa : Reposición Pavimento Asfalto

COSTOS TOTALES

Situación : Sin proyecto
Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	78.606	0	0
2009	1	5.463.829	4.885.515	78.606	0	0
2010	2	5.839.786	5.185.169	78.606	0	0
2011	3	6.215.742	5.484.824	78.606	0	0
2012	4	6.591.699	5.784.478	78.606	0	0
2013	5	6.967.656	6.084.133	78.606	0	0
2014	6	7.343.613	6.383.787	78.606	0	0
2015	7	7.719.569	6.683.442	78.606	0	0
2016	8	8.095.526	6.983.096	78.606	0	0
2017	9	8.471.483	7.282.750	78.606	0	0
2018	10	8.847.440	7.582.405	78.606	0	0

Situación : Con proyecto
Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	0	0	0
2009	1	4.062.732	4.581.492	20.700	0	0
2010	2	4.345.805	4.860.181	20.700	0	0
2011	3	4.628.878	5.138.869	20.700	0	0
2012	4	4.911.952	5.417.557	20.700	0	0
2013	5	5.195.025	5.696.246	214.542	0	0
2014	6	5.478.098	5.974.934	20.700	0	0
2015	7	5.761.172	6.253.622	20.700	0	0
2016	8	6.044.245	6.532.311	20.700	0	0
2017	9	6.327.318	6.810.999	20.700	0	0
2018	10	6.610.392	7.089.687	20.700	0	0

**MODELO HDM-III-Chile Versión Simplificada**
COSTOS DE OPERACION Y TIEMPO DE VIAJE**EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Nombre del proyecto : Ampliación y Reposición Ruta 5 Chiloé
Sector : SECTOR 2, SECTOR 3, SECTOR 4, SECTOR 5, SECTOR 6, SECTOR 9
Nombre de la Alternativa : Reposición Pavimento Hormigón

COSTOS TOTALES

Situación : Sin proyecto
 Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	74.452	0	0
2009	1	11.745.442	9.560.575	74.452	0	0
2010	2	12.672.533	10.156.944	74.452	0	0
2011	3	13.599.624	10.753.314	74.452	0	0
2012	4	14.526.715	11.349.683	74.452	0	0
2013	5	15.453.807	11.946.053	74.452	0	0
2014	6	16.380.898	12.542.422	74.452	0	0
2015	7	17.307.989	13.138.792	74.452	0	0
2016	8	18.235.080	13.735.162	74.452	0	0
2017	9	19.162.172	14.331.531	74.452	0	0
2018	10	20.089.263	14.927.901	74.452	0	0

Situación : Con proyecto
 Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	0	0	0
2009	1	8.667.759	9.108.238	43.596	0	0
2010	2	9.351.360	9.672.424	43.596	0	0
2011	3	10.034.960	10.236.611	43.596	0	0
2012	4	10.718.561	10.800.797	43.596	0	0
2013	5	11.402.161	11.364.984	333.732	0	0
2014	6	12.085.762	11.929.170	43.596	0	0
2015	7	12.769.362	12.493.356	43.596	0	0
2016	8	13.452.963	13.057.543	43.596	0	0
2017	9	14.136.563	13.621.729	43.596	0	0
2018	10	14.820.164	14.185.916	43.596	0	0



MODELO HDM-III-Chile Versión Simplificada
COSTOS DE OPERACION Y TIEMPO DE VIAJE

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Nombre del proyecto : Reposición Ruta 199 CH
Sector : TRAMO 1, TRAMO 2, TRAMO 3
Nombre de la Alternativa : Reposición Pavimento Asfalto

COSTOS TOTALES

Situación : Sin proyecto
 Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	61.138	0	0
2009	1	1.060.438	1.259.329	61.138	0	0
2010	2	1.094.799	1.300.651	61.138	0	0
2011	3	1.129.160	1.341.973	61.138	0	0
2012	4	1.163.521	1.383.295	61.138	0	0
2013	5	1.197.881	1.424.616	61.138	0	0
2014	6	1.232.242	1.465.938	61.138	0	0
2015	7	1.266.603	1.507.260	61.138	0	0
2016	8	1.300.963	1.548.582	61.138	0	0
2017	9	1.335.324	1.589.904	61.138	0	0
2018	10	1.369.685	1.631.226	61.138	0	0

Situación : Con proyecto
 Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	0	0	0
2009	1	778.357	1.190.414	16.100	0	0
2010	2	803.920	1.229.592	16.100	0	0
2011	3	829.484	1.268.771	16.100	0	0
2012	4	855.048	1.307.950	16.100	0	0
2013	5	880.611	1.347.129	166.866	0	0
2014	6	906.175	1.386.308	16.100	0	0
2015	7	931.739	1.425.487	16.100	0	0
2016	8	957.302	1.464.666	16.100	0	0
2017	9	982.866	1.503.845	16.100	0	0
2018	10	1.008.429	1.543.023	16.100	0	0



MODELO HDM-III-Chile Versión Simplificada
COSTOS DE OPERACION Y TIEMPO DE VIAJE

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Nombre del proyecto : Mejoramiento Ruta R-42
Sector :
Nombre de la Alternativa : Pavimentación

COSTOS TOTALES

Situación : Sin proyecto
Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	40.440	0	0
2009	1	999.191	603.366	43.296	0	0
2010	2	1.030.281	623.377	46.176	0	0
2011	3	1.061.371	643.389	49.320	0	0
2012	4	1.092.462	663.401	52.776	0	0
2013	5	1.123.552	683.412	250.032	0	0
2014	6	1.154.642	703.424	60.408	0	0
2015	7	1.185.732	723.436	64.632	0	0
2016	8	1.216.823	743.447	69.144	0	0
2017	9	1.247.913	763.459	74.040	0	0
2018	10	1.279.003	783.470	79.296	0	0

Situación : Con proyecto
Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	0	0	0
2009	1	662.746	576.419	17.856	0	0
2010	2	683.333	595.551	18.336	0	0
2011	3	703.919	614.684	18.888	0	0
2012	4	724.505	633.816	19.440	0	0
2013	5	745.091	652.949	337.008	0	0
2014	6	765.677	672.082	20.832	0	0
2015	7	786.263	691.214	21.456	0	0
2016	8	806.849	710.347	22.176	0	0
2017	9	827.435	729.479	23.040	0	0
2018	10	848.021	748.612	23.952	0	0



MODELO HDM-III-Chile Versión Simplificada
COSTOS DE OPERACION Y TIEMPO DE VIAJE

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Nombre del proyecto : Mejoramiento Ruta R-89
Sector :
Nombre de la Alternativa : Pavimentación

COSTOS TOTALES

Situación : Sin proyecto
Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	17.640	0	0
2009	1	669.580	442.663	18.808	0	0
2010	2	692.134	456.966	20.176	0	0
2011	3	714.688	471.268	21.584	0	0
2012	4	737.243	485.570	23.072	0	0
2013	5	759.797	499.872	83.344	0	0
2014	6	782.351	514.175	26.472	0	0
2015	7	804.905	528.477	28.344	0	0
2016	8	827.460	542.779	30.376	0	0
2017	9	850.014	557.082	32.544	0	0
2018	10	872.568	571.384	34.888	0	0

Situación : Con proyecto
Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	0	0	0
2009	1	450.035	430.694	6.704	0	0
2010	2	465.351	444.569	6.944	0	0
2011	3	480.668	458.445	7.184	0	0
2012	4	495.984	472.321	7.392	0	0
2013	5	511.300	486.196	112.336	0	0
2014	6	526.616	500.072	7.984	0	0
2015	7	541.932	513.947	8.296	0	0
2016	8	557.248	527.823	8.656	0	0
2017	9	572.564	541.699	9.008	0	0
2018	10	587.880	555.574	9.416	0	0

**MODELO HDM-III-Chile Versión Simplificada**
COSTOS DE OPERACION Y TIEMPO DE VIAJE**EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Nombre del proyecto : Mejoramiento Ruta 5 Norte
Sector :
Nombre de la Alternativa : Reposición Pavimento Asfalto

COSTOS TOTALES

Situación : Sin proyecto
 Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	200.882	0	0
2009	1	16.344.045	9.264.152	200.882	0	0
2010	2	16.937.880	9.586.544	200.882	0	0
2011	3	17.531.716	9.908.936	200.882	0	0
2012	4	18.125.551	10.231.328	200.882	0	0
2013	5	18.719.387	10.553.720	200.882	0	0
2014	6	19.313.222	10.876.112	200.882	0	0
2015	7	19.907.058	11.198.504	200.882	0	0
2016	8	20.500.893	11.520.896	200.882	0	0
2017	9	21.094.729	11.843.288	200.882	0	0
2018	10	21.688.565	12.165.680	200.882	0	0

Situación : Con proyecto
 Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	0	0	0
2009	1	11.460.526	7.670.570	52.900	0	0
2010	2	11.878.263	7.937.272	52.900	0	0
2011	3	12.295.999	8.203.973	52.900	0	0
2012	4	12.713.735	8.470.674	52.900	0	0
2013	5	13.131.471	8.737.376	548.274	0	0
2014	6	13.549.208	9.004.077	52.900	0	0
2015	7	13.966.944	9.270.778	52.900	0	0
2016	8	14.384.680	9.537.480	52.900	0	0
2017	9	14.802.417	9.804.181	52.900	0	0
2018	10	15.220.153	10.070.882	52.900	0	0



MODELO HDM-III-Chile Versión Simplificada
COSTOS DE OPERACION Y TIEMPO DE VIAJE

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Nombre del proyecto : Ruta 5 Sur. Quemchi-colonia Yungay
Sector :
Nombre de la Alternativa : Reposición Pavimento Asfalto

COSTOS TOTALES

Situación : Sin proyecto
Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	8.734	0	0
2009	1	517.208	340.506	8.734	0	0
2010	2	534.710	352.245	8.734	0	0
2011	3	552.212	363.985	8.734	0	0
2012	4	569.714	375.724	8.734	0	0
2013	5	587.216	387.463	8.734	0	0
2014	6	604.718	399.203	8.734	0	0
2015	7	622.220	410.942	8.734	0	0
2016	8	639.722	422.681	8.734	0	0
2017	9	657.224	434.421	8.734	0	0
2018	10	674.726	446.160	8.734	0	0

Situación : Con proyecto
Moneda : Montos expresados en miles de pesos [M\$] en moneda nacional del 31-12-2008

Año	i	Costo Operación	Costo Viaje	Inversión Conservación	Costo Adicional	Otro Costo
2008	0	0	0	0	0	0
2009	1	362.145	291.000	2.300	0	0
2010	2	374.521	301.068	2.300	0	0
2011	3	386.897	311.135	2.300	0	0
2012	4	399.273	321.203	2.300	0	0
2013	5	411.649	331.271	23.838	0	0
2014	6	424.025	341.339	2.300	0	0
2015	7	436.400	351.407	2.300	0	0
2016	8	448.776	361.475	2.300	0	0
2017	9	461.152	371.543	2.300	0	0
2018	10	473.528	381.611	2.300	0	0

B. COSTO SOCIAL UNITARIO DE ACCIDENTES

B.1. Actualización del factor social a la fecha

60% : Proporción del costo correspondiente a Repuestos.

40% : Proporción del costo correspondiente a Mano de Obra.

1,01 : Factor Social de la Divisa.

0,97 : Factor Social de la Mano de Obra. (Promedio Factor MO Calificada y MO Semicalificada)

Se considera un Maestro y un Ayudante

0,84 : FACTOR SOCIAL

B.2. Costo social unitario por daños a vehículos motorizados (Precios 2006).

Tabla 9.2.2.1. Costo social por daños a vehículos motorizados.

Tipo de Accidente		COSTO SOCIAL*		COSTO SOCIAL**	
		Vehículos Livianos	Vehículos Pesados	Vehículos Livianos	Vehículos Pesados
		(\$/Veh)	(\$/Veh)	(\$/Veh)	(\$/Veh)
Atropello		462.319	229.744	374.478	186.093
Choque	Frontal	1.696.020	4.723.733	1.373.776	3.826.224
	Lateral	1.058.814	1.980.938	857.639	1.604.559
Total Choque		1.392.588	3.352.335	1.127.996	2.715.391
Colisión	Frontal	1.461.853	5.653.454	1.184.101	4.579.298
	Cruzada	1.321.335	7.822.268	1.070.281	6.336.037
	Posterior	1.542.142	4.557.143	1.249.135	3.691.286
	Lateral	1.505.497	1.855.413	1.219.453	1.502.884
Total Colisión		1.511.036	4.584.631	1.223.939	3.713.551
Volcadura		4.141.384	8.752.072	3.354.521	7.089.179
Solo Daños		188.857	-	152.974	-

*IVA inc

**IVA exc

B.3. Costo social unitario asociado al tratamiento de lesionados (Precios 2006).

Tabla 9.2.3.1. Costo social por tratamiento de lesionados.

Nivel de Gravedad	Tratamiento Lesionados	Perdida de Productividad	Gastos Administrativos	Capital Humano	COSTO SOCIAL*	COSTO SOCIAL**
Leve	20.733	68.022	397.534	-	486.289	393.894
M. Grave	64.364	193.972	414.681	-	673.017	545.144
Grave	139.471	1.509.295	805.335	-	2.454.101	1.987.822
Fatal	-	290.130	1.436.032	62.721.921	64.448.083	52.202.947
S. Daño	-	-	391.364	-	391.364	317.005

*IVA inc

**IVA exc



B.4. Corrección monetaria hasta 2008 según variación del IPC.

Tabla 9.2.4.1. Actualización del costo social unitario de accidentes.

TIPO DE ACCIDENTE		COSTO SOCIAL**	
		Vehículos Livianos	Vehículos Pesados
		(\$/Veh)	(\$/Veh)
Atropello		427.098	212.242
Choque	Frontal	1.566.812	4.363.866
	Lateral	978.151	1.830.024
Total Choque		1.286.497	3.096.945
Colisión	Frontal	1.350.485	5.222.759
	Cruzada	1.220.672	7.226.347
	Posterior	1.424.657	4.209.968
	Lateral	1.390.805	1.714.063
Total Colisión		1.395.921	4.235.362
Volcadura		3.825.882	8.085.316
Solo Daños		174.469	-

** Sin IVA

Nivel de Gravedad	COSTO SOCIAL**
Leve	449.242
M. Grave	621.745
Grave	2.267.141
Fatal	59.538.256
S. Daño	361.549

** Sin IVA

Estos valores son ponderados directamente con la distribución de la tasa de accidentes según tipología, según grado de lesión de las víctimas y el número de fallecidos.



C. CÁLCULO DE INDICADORES

C.1. Ruta 60 Ch.

ΔVAN [miles de \$]	8816880
IVAN sp [VANsp/Io]	2,64
IVAN cp [VANcp/Io]	2,97
RI (Razón de inversión)	1,12

PRE PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IC [Costo accidentes/Costo total] s.o.a	0,93	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
IC [Costo accidentes/Costo total] c.o.a		0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05

POST PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IB [Beneficio O.A./Beneficio total]	1,000	0,074	0,077	0,080	0,083	0,088	0,088	0,090	0,092	0,094	0,096

	0,086										
IRSV [IB/IC]		1,787	1,624	1,480	1,352	1,282	1,135	1,041	0,957	0,880	0,810
IRSV [IB/IC] (Índice rent. Seguridad vial)		1,23									

B s.o.a	0	6564641	6294912	6029121	5768167	5307573	5263599	5021075	4785601	4557460	4336860
C s.o.a	15000000	35747019	34325883	32919144	31532465	30375812	28837465	27536291	26269652	25039574	23847588

B/C s.o.a	0,17
------------------	-------------

B c.o.a	516158	7086941	6819612	6552999	6288466	5821950	5770075	5517999	5271608	5031442	4797931
C c.o.a	16106412	36904630	35521037	34139928	32768524	31618184	30078432	28769245	27488972	26240514	25026180

B/C c.o.a	0,18
------------------	-------------

ICP (Índice comp. Proyecto)	1,06
------------------------------------	-------------

C.2. Ruta 215 Ch.

Δ VAN[miles de \$]	220961
IVAN sp [VANsp/Io]	4,35
IVAN cp [VANcp/Io]	3,99
RI (Razón de inversión)	0,92

PRE PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IC [Costo accidentes/Costo total] s.o.a		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
IC [Costo accidentes/Costo total] c.o.a		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

POST PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IB [Beneficio O.A./Beneficio total]		0,037	0,035	0,033	0,031	0,033	0,028	0,027	0,026	0,025	0,024

0,030											
IRSV [IB/IC]		1,548	1,435	1,330	1,233	1,248	1,058	0,981	0,909	0,842	0,780
IRSV [IB/IC] (Indice rent. Seguridad vial)	1,14	1,14	1,14								

B s.o.a	0	1632431	1609118	1580302	1546925	1377896	1469728	1427289	1383073	1337577	1291232
C s.o.a	3041260	8023078	7910396	7770385	7607713	7558430	7230397	7022595	6805905	6582785	6355375

B/C s.o.a	0,19
------------------	-------------

B c.o.a	68104	1695491	1667506	1634365	1596983	1424247	1512645	1467027	1419868	1371646	1322777
C c.o.a	3210389	8179679	8055397	7904645	7732027	7673536	7336977	7121280	6897281	6667391	6433715

B/C c.o.a	0,20
------------------	-------------

ICP (Indice comp. Proyecto)	1,02
------------------------------------	-------------

C.3. Ruta 5 Chiloé.

Δ VAN [miles de \$]	13055626
IVAN sp [VANsp/Io]	0,102
IVAN cp [VANcp/Io]	0,454
RI (Razón de inversión)	4,450

PRE PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IC [Costo accidentes/ Costo total] s.o.a		0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,21
IC [Costo accidentes/ Costo total] c.o.a		0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15

POST PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IB [Beneficio O.A./Beneficio total]	0,19	0,346	0,354	0,362	0,368	0,389	0,379	0,383	0,387	0,390	0,393

0,375											
IRSV [IB/IC]		1,883	1,724	1,581	1,452	1,389	1,228	1,131	1,042	0,960	0,885
IRSV [IB/IC] (Indice rent. Seguridad vial)	1,33										

B s.o.a.	0	3297107	3289222	3264415	3225235	2976486	3112562	3042855	2966396	2884569	2798587
C s.o.a.	35087581	16499623	16347205	16126835	15849415	15722069	15160954	14765991	14346355	13907866	13455621

B/C s.o.a	0,165
------------------	--------------

B c.o.a.	1653593	5037783	5095007	5116111	5106133	4872100	5010390	4932169	4838044	4730801	4612899
C c.o.a.	37284673	18809726	18741521	18580212	18339967	18230826	17671553	17264395	16820594	16347812	15852778

B/C c.o.a	0,238
------------------	--------------

ICP (Indice comp. Proyecto)	1,45
------------------------------------	-------------

C.4. Ruta 199 Ch.

Δ VAN [miles de \$]	1093058
IVAN sp [VANsp/Io]	2,143
IVAN cp [VANcp/Io]	2,979
RI (Razón de inversión)	1,390

PRE PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IC [Costo accidentes/Costo total] s.o.a		0,33	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,45	0,47	0,48	0,49
IC [Costo accidentes/Costo total] c.o.a		0,35	0,38	0,40	0,43	0,44	0,46	0,48	0,49	0,50	0,51

POST PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IB [Beneficio O.A./Beneficio total]	0,42	0,228	0,241	0,252	0,262	0,272	0,281	0,289	0,297	0,304	0,311

0,274											
IRSV [IB/IC]		0,633	0,572	0,521	0,477	0,438	0,404	0,373	0,345	0,319	0,295
IRSV [IB/IC] (Índice rent. Seguridad vial)	0,44										

B s.o.a	0	366698	348916	331755	315222	299317	284040	269383	255339	241898	229048
C s.o.a	1040000	1837844	1757212	1678443	1601702	1527120	1454799	1384813	1317212	1252029	1189273

B/C s.o.a	0,183
------------------	--------------

B c.o.a	105326	475128	459412	443416	427268	411080	394946	378946	363150	347615	332389
C c.o.a	1935160	2833343	2833273	2817669	2788831	2748804	2699405	2642242	2578736	2510140	2437557

B/C c.o.a	0,144
------------------	--------------

ICP (Índice comp. Proyecto)	0,78
------------------------------------	-------------

C.5. Ruta R-42.

Δ VAN [miles de \$]	8377
IVAN sp [VANsp/Io]	28,935
IVAN cp [VANcp/Io]	23,216
RI (Razón de inversión)	0,802

PRE PROYECTO	AÑO											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
IC [Costo accidentes/Costo total] s.o.a		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
IC [Costo accidentes/Costo total] c.o.a		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Icpromedio 0,02

POST PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IB [Beneficio O.A./Beneficio total]		0,011	0,011	0,010	0,010	0,010	0,009	0,009	0,009	0,008	0,008

0,010

IRSV [IB/IC]		0,569	0,526	0,485	0,448	0,414	0,382	0,352	0,325	0,300	0,276
IRSV [IB/IC] (Índice rent. Seguridad vial)	0,41										

B s.o.a.	0	360030	345177	330702	316708	302971	289804	277080	264754	252855	241409
C s.o.a.	124497	1163908	1112157	1061743	1012695	965089	919160	874613	831675	790370	750644

B/C s.o.a	0,310
------------------	--------------

B c.o.a.	4316	364026	348877	334128	319881	305909	292524	279599	267086	255014	243408
C c.o.a.	150093	1187608	1134102	1082062	1031509	982509	935290	889548	845504	803175	762500

B/C c.o.a	0,308
------------------	--------------

ICP (Índice comp. Proyecto)	0,99
------------------------------------	-------------

C.6. Ruta R-89.

ΔVAN [miles de \$]	-245242
IVAN sp [VANsp/Io]	0,797
IVAN cp [VANcp/Io]	0,446
RI (Razón de inversión)	0,559

PRE PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IC [Costo accidentes/Costo total] s.o.a		0,19	0,23	0,25	0,28	0,29	0,32	0,33	0,35	0,36	0,38
IC [Costo accidentes/Costo total] c.o.a		0,23	0,27	0,30	0,33	0,33	0,37	0,39	0,41	0,43	0,44

Icpromedio 0,30

POST PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IB [Beneficio O.A./Beneficio total]		0,045	0,032	0,019	0,008	-0,004	-0,014	-0,025	-0,035	-0,044	-0,053

-0,007

IRSV [IB/IC]		0,212	0,120	0,061	0,020	-0,010	-0,029	-0,043	-0,054	-0,061	-0,066
IRSV [IB/IC] (Índice rent. Seguridad vial)	0,02										

B s.o.a	0	225572	216403	207383	198596	158699	181694	173618	165802	158263	150987
C s.o.a	1278000	821697	786063	751201	717166	755333	652019	620936	590907	561915	534002

B/C s.o.a	0,228
------------------	--------------

B c.o.a	14452	236091	223491	211492	200128	158013	179111	169422	160246	151572	143359
C c.o.a	1467821	1063740	1071549	1072367	1067159	1128120	1042302	1024079	1002862	979166	953503

B/C c.o.a	0,156
------------------	--------------

ICP (Índice comp. Proyecto)	0,68
------------------------------------	-------------

C.7. Ruta 5 Norte.

Δ VAN [miles de \$]	2196482
IVAN _{sp} [VAN _{sp} /I _o]	0,520
IVAN _{cp} [VAN _{cp} /I _o]	0,528
RI (Razón de inversión)	1,015

PRE PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IC [Costo accidentes/Costo total] s.o.a		0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
IC [Costo accidentes/Costo total] c.o.a		0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06

Icpromedio 0,06

POST PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IB [Beneficio O.A./Beneficio total]		0,081	0,085	0,089	0,093	0,102	0,099	0,102	0,104	0,107	0,109

0,097

IRSV [IB/IC]		1,586	1,570	1,556	1,542	1,624	1,515	1,503	1,490	1,479	1,467
IRSV [IB/IC] (Índice rent. Seguridad vial)	1,53										

B s.o.a	0	6134336	5878662	5627208	5380751	4802786	4905260	4677155	4455928	4241812	4034967
C s.o.a	36646000	17762959	17033981	16315532	15610056	15256716	14245731	13589854	12952979	12335888	11739146

B/C s.o.a	0,273
------------------	--------------

B c.o.a	534189	6678314	6428047	6178215	5930125	5347745	5443444	5206578	4974934	4749040	4529315
C c.o.a	37369998	18504085	17785724	17072255	16366894	16009501	14990911	14324424	13674423	13042120	12428460

B/C c.o.a	0,292
------------------	--------------

ICP (Índice comp. Proyecto)	1,07
------------------------------------	-------------

C.8. Ruta 5 Sur.

Δ VAN	3018184
IVAN _{sp} [VAN _{sp} /I _o]	4,666
IVAN _{cp} [VAN _{cp} /I _o]	12,356
RI (Razón de inversión)	2,648

PRE PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IC [Costo accidentes/Costo total] s.o.a		0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
IC [Costo accidentes/Costo total] c.o.a		0,38	0,38	0,38	0,39	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,40
Icpromedio	0,48										

POST PROYECTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IB [Beneficio O.A./Beneficio total]		0,632	0,633	0,634	0,635	0,658	0,637	0,638	0,639	0,639	0,640
Ibpromedio	0,639										

IRSV [IB/IC]		1,340	1,329	1,318	1,308	1,342	1,287	1,278	1,268	1,258	1,249
IRSV [IB/IC] (Índice rent. Seguridad vial)	1,30										

B s.o.a	0	195373	186728	178294	170083	147452	154386	146916	139706	132758	126072
C s.o.a	350000	606894	581181	555946	531262	521843	483759	461020	438996	417705	397160

B/C s.o.a	0,295
------------------	--------------

B c.o.a	313503	531044	509114	487521	466332	430948	425393	405730	386645	368162	350295
C c.o.a	769780	979136	941074	903278	865918	843795	793053	757766	723355	689884	657403

B/C c.o.a	0,524
------------------	--------------

ICP (Índice comp. Proyecto)	1,77
------------------------------------	-------------