Documento del Banco Interamericano De Desarrollo

**bolivia**

Proyecto de Reconstrucción del Tramo Mairana-Bermejo

**(BO-L1186)**

**Análisis de Costos y Viabilidad Económica**

|  |
| --- |
| Este documento fue preparado por el equipo de proyecto integrado por: Reinaldo Fioravanti (INE/TSP), Jefe de Equipo; Jorge Tapia (TSP/CBO), Jefe de Equipo Alterno; Rafael Capristán (TSO/CPE); Shirley Cañete (TSP/CBO); René Cortés, Manuel Pastor y Agustina Cocha (INE/TSP); Giacomo Palmisano (INE/INE); Adriana Rojas (CAN/CBO); Michael Kent y Prem Jai Vidaurre (VPS/ESG); Carolina Escudero y Diana de León (FMP/CBO); y Javier Jiménez y Virginia Franzini (LEG/SGO) y Fabián Schvartzer (Consultor). |

**SIGLAS Y ABREVIATURAS**

|  |  |
| --- | --- |
| BID | Banco Interamericano de Desarrollo |
| COV | Costos de Operación Vehicular |
| ABC | Administración Boliviana de Carreteras |
| HDM-4 | Highway Development and Management Model |
| IRI | Índice Internacional de Rugosidad |
| TIRE | Tasa Interna de Retorno Económico |
| VANE | Valor Actual Neto Económico |

Contenido

[I. Introducción 5](#_Toc487725416)

[II. Hipótesis y metodología 6](#_Toc487725417)

[II. 1 Descripción de Beneficios 6](#_Toc487725418)

[II.1.1 Ahorros en Costos de Operación Vehicular (COV) 7](#_Toc487725419)

[II.1.2 Ahorros en Costos de Mantenimiento Vial 7](#_Toc487725420)

[II.1.3 Ahorro de tiempo 7](#_Toc487725421)

[II. 2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 8](#_Toc487725422)

[II.2.1 Ubicación 8](#_Toc487725423)

[*II.2.2.1* *Sub Tramo III: Mairana – Bermejo.* 9](#_Toc487725424)

[II.2.2 Definición de Alternativas 9](#_Toc487725425)

[II.2.3 Tránsito y sus proyecciones 10](#_Toc487725426)

[II. 3 Parámetros utilizados para la evaluación socioeconómica 17](#_Toc487725427)

[II.3.1 Tasa Social de Descuento 17](#_Toc487725428)

[II.3.2 Período de Evaluación 17](#_Toc487725429)

[II.3.3 Factor de Precio Sombra 17](#_Toc487725430)

[III. Beneficios Económicos 19](#_Toc487725431)

[III.1 Mejora de la rugosidad de la vía 19](#_Toc487725432)

[III.2 Incremento de la velocidad de operación 23](#_Toc487725433)

[III.3 Beneficios totales 26](#_Toc487725434)

[IV. Costos económicos 27](#_Toc487725435)

[IV.1 Costos de Mantenimiento 27](#_Toc487725436)

[IV.1.1 Alternativas Sin Proyecto 27](#_Toc487725437)

[IV.1.2 Alternativas Con Proyecto 27](#_Toc487725438)

[IV.2 Costos de la Intervención 27](#_Toc487725439)

[IV.3 Costos de Operación Vehicular 28](#_Toc487725440)

[V. Resultados Económicos 29](#_Toc487725441)

[VI. Análisis de sensibilidad 31](#_Toc487725442)

[VI.1 Valores de Frontera 32](#_Toc487725443)

[VI.1.1 Frontera de Costos Viales 32](#_Toc487725444)

[VI.1.2 Frontera de Beneficios de COV 33](#_Toc487725445)

[VII. Conclusiones 33](#_Toc487725446)

[Anexo 1: Visión General Modelo HDM-4 34](#_Toc487725447)

# Introducción

En los siguientes apartados se hace una valoración de la viabilidad económica del proyecto de la muestra presentado para la operación BO-L1186 “Proyecto de Reconstrucción del Tramo Mairana-Bermejo”.

En el Cuadro 1 presenta información en cuanto a nombre de proyecto, longitud y costo estimado de las obras.

Cuadro 1: Detalle del Proyecto de la Muestra

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PROYECTO | Longitud (km) | Monto(1)  (US$ Miles) |
| Mantenimiento Periódico en la Red Vial Fundamental  Tramo: La Angostura – Comarapa. Sub Tramo III: Mairana – Bermejo.  (Rehabilitación de superficie de rodamiento de dos carriles, adecuación del drenaje de la carretera, mantenimiento de obras de artes mayores, y construcción de Peaje en Samaipata). | 58,2 | 57130.85 |

(1) El monto incluye la construcción, la supervisión, la fiscalización y la mitigación ambiental.

La Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), entidad ejecutora del proyecto entregó al Banco los documentos técnicos y de factibilidad del proyecto, y el presente informe corresponde a la Diligencia Debida realizada por el Equipo de Proyecto apoyado por el Consultor contratado para tal fin. Aquí se efectúa la evaluación económica independiente del proyecto, en base a la información proporcionada y de estimaciones propias y fundamentadas.

Con el análisis de costos se ha verificado que las intervenciones propuestas en el proyecto, cuentan con un presupuesto acorde a la naturaleza de las obras y a las condiciones del mercado imperantes.

Con la evaluación económica realizada independientemente, se han establecido índices de rentabilidad económica a efecto de verificar la elegibilidad de los proyectos para un potencial financiamiento del Banco. A su vez, ha provisto de los insumos necesarios para establecer los indicadores que han sido incluidos de la matriz de resultados y el plan de monitoreo y evaluación de la operación.

# Hipótesis y metodología

La valoración de la viabilidad económica del proyecto se ha realizado a partir del análisis de beneficios en función del costo; el cual enumera y valora los beneficios y los costos traducidos a valor actual neto a efecto de contar con un patrón de medida común.

Los indicadores de viabilidad económica han sido obtenidos, a partir del flujo de beneficios que han sido determinados a partir de la comparación de los costos totales del transporte en el tramo carretero; los cuales han sido calculados anualmente en un período de análisis para las opciones “Sin Proyecto” y “Con Proyecto”.

La opción “Sin proyecto” se define como las condiciones en que operaría la vía sin que se efectuara ninguna inversión adicional a las que en la actualidad se realizan anualmente para su mantenimiento de rutina.

La opción “Con Proyecto” se define como las condiciones en que operaría la vía, luego de la ejecución de la inversión necesaria en la vía para su Rehabilitación[[1]](#footnote-1).

Los costos totales del transporte para cada una de las opciones se establecen a partir de la cuantificación de los costos asociados a la intervención inicial y mantenimiento de la vía; y los costos de los usuarios.

El grupo de costos asociados a la rehabilitación y mantenimiento de la vía están en función de la progresión del deterioro de la misma; el cual a su vez depende de las características funcionales de la vía (tipo de superficie, materiales, entre otros aspectos), las estrategias de conservación, la evolución del tránsito y el clima imperante en la zona de la vía.

Por su parte, los costos de los usuarios estarán definidos por las características geométricas de la vía y su condición superficial, las cuales condicionan las velocidades de operación.

En tal sentido, para la evaluación de las opciones “Sin Proyecto” y “Con Proyecto”, se establece la condición anual del camino a partir del efecto de las intervenciones, el mantenimiento de la vía, el tránsito y el clima. Luego se establecen los costos a los usuarios derivados de esa condición.

De la comparación de los costos para cada opción, se establecen los beneficios que se detallan en el apartado siguiente.

## Descripción de Beneficios

Para el análisis de las intervenciones en carreteras, generalmente se consideran los siguientes beneficios: costos de operación vehicular (COV), ahorros de mantenimiento de las carreteras, ahorro en tiempo de los pasajeros.

### Ahorros en Costos de Operación Vehicular (COV)

La magnitud de este tipo de beneficio depende de las características funcionales de carreteras. Los ahorros en COV son los más significativos para carreteras interurbanas en situaciones donde el costo del tiempo es relativamente bajo.

Los COV se reducen normalmente cuando una carretera es mejorada ya que los usuarios perciben los ahorros a través de menores gastos en las siguientes áreas:

1. Consumo de combustible
2. Consumo de lubricantes
3. Consumo de repuestos
4. Mano de obra de mantenimiento de vehículos
5. Consumo de llantas
6. Depreciación del vehículo

El ahorro total de COV se calcula para cada año en el período de análisis. Los volúmenes de tráfico crecerán para cada año y los ahorros de COV cambiarán de acuerdo al volumen de tránsito y la condición de la vía, la cual a su vez dependerá de la estrategia de mantenimiento practicada sobre ella.

### Ahorros en Costos de Mantenimiento Vial

En la evaluación económica se incluye una estimación del costo de mantenimiento de la carretera en la condición sin y con proyecto. El primer paso para estimar los costos de mantenimiento es establecer la estrategia de mantenimiento que es factible que se implemente en el futuro en la condición con y sin proyecto. Las actividades de mantenimiento necesarias estarán en función entonces de la evolución del deterioro de la vía para cada opción analizada, así como la estrategia de conservación implementada.

De la comparación de los flujos anuales de recursos necesarios para el mantenimiento de la vía en cada opción analizada, se obtienen los ahorros en costos de mantenimiento vial.

### Ahorro de tiempo

Una mejora de la carretera resulta en una mejora de las velocidades de circulación y una reducción del tiempo de recorrido. La reducción del tiempo de viaje puede traducirse en términos económicos.

El valor del tiempo depende del propósito o motivo del viaje. Básicamente, los viajes de larga distancia son de dos tipos: de negocios o de esparcimiento. Si un viaje toma tiempo de trabajo, significa que la sociedad está perdiendo la producción del trabajador en la proporción equivalente a las horas que pasa viajando. Dada la suposición de que el sueldo del trabajador, incluyendo cargas sociales, igual a su producción marginal, que la economía está con pleno empleo y que no hay distorsiones en el mercado de la mano de obra, el sueldo por hora representa el costo para la sociedad de su ausencia.

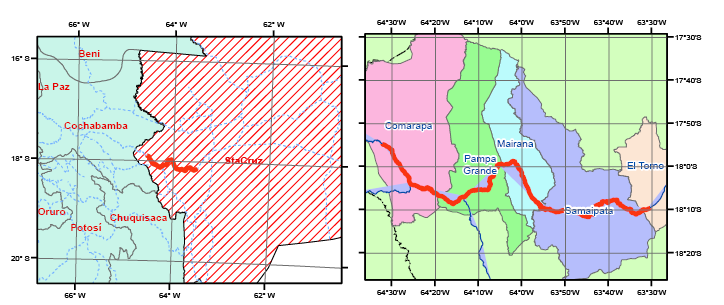
Sin embargo, en economías donde hay grandes niveles de sub empleo y distorsiones en el mercado de trabajo, como en Bolivia, lo que refleja mejor el valor de tiempo son los referentes a la mano de obra. Para los viajes que no tienen como motivo el trabajo o los de esparcimiento y turismo, normalmente se utiliza como una aproximación el 33% del valor de una hora de trabajo.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### Ubicación

El Proyecto ***“Mantenimiento Periódico en la Red Vial Fundamental: Tramo: La Angostura – Comarapa”,*** está localizado en la región oriental de Bolivia, en las Provincias Ibáñez, Florida y Caballero, sobre la ruta F-007 a los 17°54'54.45" de Latitud Sur y 64°32'0.72" de Longitud Oeste en Comarapa y a los 18° 9'44.83" de Latitud Sur y 63°30'23.22" de Longitud Oeste en el lado de La Angostura (Ver Figura 1).

Figura 1: Mapa de Ubicación del proyecto



El tramo del proyecto es parte de la Red Vial Fundamental codificada como RVF-007; tiene una longitud inventariada de 184 Km. aproximadamente, desde la población de Comarapa hasta La Angostura. Conecta el Departamento de Cochabamba con Santa Cruz, y es de vital importancia para ambas ciudades, el eje troncal y poblaciones vecinas, ya que representa una vía principal para el transporte de carga de exportación y de mercaderías hacia y desde las regiones involucradas y alternativamente como la única opción para unir oriente y occidente cuando los problemas por corte de vías en la zona del Chapare hace que por este sector circule el tráfico de vehículos livianos y pesados.

En cuanto a la topografía, el tramo se desarrolla sobre una zona predominantemente llana, con alturas que oscilan entre los 642 m.s.n.m. a los 2135 m.s.n.m. El clima es cálido en toda la región, con frecuentes precipitaciones, una humedad relativa alta; corrientes frías polares (surazos) frecuentes en invierno.

La precipitación media de la zona del proyecto es de aproximadamente 1500 mm al año, lo cual es típico de zona Sub húmedas, la temperatura media es de 18 °C a 24 ºC típico de la zona de los valles orientales.

La zona tiene mucha actividad agrícola y agropecuaria, es una zona productora de maíz existiendo una abundante crianza de aves como el pollo.

Dentro del tramo se ha realizado una subdivisión del mismo en 4 subtramos de acuerdo al siguiente detalle.

Cuadro 2: División en Sub Tramos

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **División de los Tramos** | | | **Progresivas** | | **Longitud** |
| **Inicial** | **Final** | **(km)** |
| I | Comarapa | Mataral | 260+750 | 313+650 | 52.9 |
| II | Mataral | Mairana | 313+650 | 363+900 | 50.3 |
| III | Mairana | Bermejo | 363+900 | 422+136.81 | 58.24 |
| IV | Bermejo | La Angostura | 422+140 | 442+600 | 20.46 |

Como ya se mencionó anteriormente, el subtramo que atañe a este informe es el de “Mairana – Bermejo”.

### *Sub Tramo III: Mairana – Bermejo.*

El Sub tramo III comprende entre las poblaciones de Mairana - Bermejo tiene una longitud de 58.24 km. El proyecto inicia en la Progresiva 363+900 antes del ingreso de la Población de Mairana, empalmando con el Sub tramo II Mataral - Mairana, y termina en la Progresiva 422+136.81 después de la Población de Bermejo, empalmando con el Sub tramo IV con progresiva de inicio de 422+140, se tendrá un desfase de 3.19 metros en el empalme entre los sub tramos III y IV.

### Definición de Alternativas

La evaluación de factibilidad de un proyecto supone comparar alternativas de acción contra una situación base. En el caso de este estudio las alternativas representan a diferentes opciones de inversión excluyentes consideradas en cada enlace, de las cuales una será la seleccionada.

Para el presente estudio si bien see analizaron las siguientes 4 alternativas de rehabilitación:

* + Colocación directa de un refuerzo (sobrecarpeta) con asfalto convencional o modificado con polímeros.
  + Retiro del concreto asfáltico existente, reconformación de las capas inferiores con adición de nuevo material granular y colocado de una sobrecarpeta de concreto asfáltico nueva convencional o modificado con polímeros.
  + Retiro del concreto asfáltico existente más reciclado en planta para conformación de una base negra, reconformación de las capas inferiores y posterior colocado de un refuerzo de concreto asfáltico nuevo convencional o modificado con polímeros.
  + Reciclado en frío in situ del concreto asfáltico más parte de la capa base granular y/o sub base granular en espesores variables (dependiendo de la capacidad estructural de las capas inferiores y la cantidad de ejes equivalentes considerados en cada sub tramo) y colocación de una sobrecarpeta de asfalto nueva convencional o asfalto modificado con polímeros.

De todas maneras, dado que el reciclado con cemento es una opción que permite: no sólo lograr importantes ahorros en el transporte de materiales (lo cual es un dato importante dadas las considerables distancias desde los bancos de préstamo hasta el centro de gravedad del proyecto) y reutilizar los materiales que conforman estructura actual; sino también conservar la rasante del proyecto sin tener que alterarse el encuentro con las estructuras fijas de puentes u otras; se ha resuelto el “Reciclado en Frío” como la más conveniente desde el punto de vista técnico-económico.

Así pues, para el análisis económico las situaciones consideradas fueron solamente dos: Por un lado, la Alternativa Sin Proyecto y, por el otro la Alternativa con Proyecto que considera el mejoramiento de la carretera.

#### Alternativa Sin Proyecto

La alternativa “Sin proyecto” es considerada la ‘Alternativa Base’ y, supone que las condiciones de vía corresponden a las actuales, es decir, los enlaces considerados continúan con su alineamiento horizontal y vertical actual, superficie de rodado y, un nivel de mantenimiento similar aunque ligeramente mejorado.

#### Alternativa Con Proyecto

En el estudio de Alternativas se estableció que la mejor alternativa de intervención era el Reciclado y el Refuerzo con Concreto Asfáltico, mejorándose el ancho de la plataforma existente lo cual será analizado según el plan de conservación definido en el presente estudio

### Tránsito y sus proyecciones

Antes de la rehabilitación de una carretera, la misma tiene un tránsito de vehículos llamado transito normal. Este tránsito aumentará de acuerdo a una tasa de crecimiento dada; cuyo valor sería completamente distinto si se llevara a cabo el proyecto. De estas observaciones se ha determinado la existencia de ciertos conceptos básicos en la tipología del tránsito relacionado con cualquier proyecto. Estos son:

**Tránsito normal (TN)**: Este es el tránsito correspondiente a la situación Sin Proyecto.

**Transito Atraído (TA)**: Es aquel tránsito adicional que normalmente circulaba por otro medio de transporte (aéreo, férreo, fluvial).

**Tránsito Generado y de Desarrollo (TG**): Es aquel tránsito adicional que se materializa debido a las mejoras introducidas por el proyecto bajo consideración en su respectiva área de influencia (mayor actividad económica; mejor uso del suelo y mayor productividad; entre otras).

**Tránsito de Desviado (TD)**: Es aquel tránsito que en la trayectoria original entre su origen-destino no incluía el tramo bajo consideración, pero que debido al nuevo beneficio adicional que aparece con el proyecto (ej. menor extensión del viaje; menor costo generalizado de transporte; etc.) reciben un incentivo implícito para desviarse de su trayectoria anterior y utilizar ahora dicho tramo.

**Crecimiento Normal del Tránsito (CNT)**: es el incremento del volumen debido al aumento normal en número y uso de vehículos de motor.

En consecuencia, el tránsito futuro para un año específico luego de la intervención proyectada se puede expresar por la expresión siguiente expresión:

**TF= TN+ TA + TG+TD +CNT**

Para el caso particular de este proyecto, debido a que el proyecto es un mejoramiento de la superficie de rodadura el tráfico generado y de desarrollo es prácticamente nulo, y no se ha considerado para el presente análisis. De manera análoga, dado que en el área de influencia directa no existen otros modos de transporte, el tráfico atraído de estos casos es nulo.

Por otra parte, se ha observado que cuando se cierra la carretera Santa Cruz – Cochabamba, principalmente por dificultades en sector el Sillar o problemas sociales, el tráfico que circula por esa vía se desvía a la ruta antigua generando un tráfico desviado. Asimismo el mejoramiento de esta vía y sus condiciones de circulación, promoverá que los usuarios asuman como la mejor alternativa de circulación en ese sentido se ha considerado el mismo como tráfico desviado.

De acuerdo al tránsito existente, se ha realizado una subdivisión del proyecto en 2 secciones: Mairana – Samaipata; y Samaipata – Angostura (Bermejo).

#### Crecimiento Normal del Tránsito

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) existente ha sido calculado a partir de aforos de tránsito de 24 horas/durante 7 días realizados en el año 2014; el cual ha sido proyectado aplicando las tasas de crecimiento que se presentan en los Cuadros 3 y 4.

Cuadro 3: Tasas de crecimiento del tránsito sector Samaipata - Mataral

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tipo de Vehículo** | **Período 2014-2019** | **Período 2020-2038** |
| Livianos | 4.50% | 3.54% |
| Buses | 5.01% | 3.79% |
| Pesados | 5.81% | 4.71% |

Cuadro 4: Tasas de crecimiento del tránsito sector Angostura (Bermejo) - Samaipata

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tipo de Vehículo** | **Período 2014-2019** | **Período 2020-2038** |
| Livianos | 4.89% | 3.73% |
| Buses | 5.14% | 3.86% |
| Pesados | 6.09% | 4.85% |

#### Tránsito normal

Como ya se mencionó anteriormente, el tránsito normal está compuesto por aquellos vehículos que usarán la vía, aún si esta no es mejorada. Los cálculos anuales del tránsito, por tipo de vehículo, se presentan en los Cuadros 5 y 6.

Cuadro 5: Tránsito Promedio Diario Anual Normal en el Tramo Samaipata - Mataral

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| **Año** | | **T1** | | **T2** | | **T3** | | **T4** | | **T5** | | **T6** | | **T7** | | **T8** | | **T9** | | **T10** | **T11** | **T12** | **TOTAL** |
| **2014** | | 357 | | 121 | | 201 | | 59 | | 89 | | 7 | | 191 | | 17 | | 102 | | 95 | 7 | 13 | **1259** |
| **2015** | | 373 | | 126 | | 210 | | 62 | | 93 | | 7 | | 202 | | 18 | | 108 | | 101 | 7 | 14 | **1321** |
| **2016** | | 390 | | 132 | | 219 | | 65 | | 98 | | 7 | | 214 | | 19 | | 114 | | 107 | 7 | 15 | **1387** |
| **2017** | | 408 | | 138 | | 229 | | 68 | | 103 | | 7 | | 226 | | 20 | | 121 | | 113 | 7 | 16 | **1456** |
| **2018** | | 426 | | 144 | | 239 | | 71 | | 108 | | 7 | | 239 | | 21 | | 128 | | 120 | 7 | 17 | **1527** |
| **2019** | | 445 | | 150 | | 250 | | 75 | | 113 | | 7 | | 253 | | 22 | | 135 | | 127 | 7 | 18 | **1602** |
| **2020** | | 461 | | 155 | | 259 | | 78 | | 117 | | 7 | | 265 | | 23 | | 141 | | 133 | 7 | 19 | **1665** |
| **2021** | | 477 | | 160 | | 268 | | 81 | | 121 | | 7 | | 277 | | 24 | | 148 | | 139 | 7 | 20 | **1729** |
| **2022** | | 494 | | 166 | | 277 | | 84 | | 126 | | 7 | | 290 | | 25 | | 155 | | 146 | 7 | 21 | **1798** |
| **2023** | | 511 | | 172 | | 287 | | 87 | | 131 | | 7 | | 304 | | 26 | | 162 | | 153 | 7 | 22 | **1869** |
| **2024** | | 529 | | 178 | | 297 | | 90 | | 136 | | 7 | | 318 | | 27 | | 170 | | 160 | 7 | 23 | **1942** |
| **2025** | | 548 | | 184 | | 308 | | 93 | | 141 | | 7 | | 333 | | 28 | | 178 | | 168 | 7 | 24 | **2019** |
| **2026** | | 567 | | 191 | | 319 | | 97 | | 146 | | 7 | | 349 | | 29 | | 186 | | 176 | 7 | 25 | **2099** |
| **2027** | | 587 | | 198 | | 330 | | 101 | | 152 | | 7 | | 365 | | 30 | | 195 | | 184 | 7 | 26 | **2182** |
| **2028** | | 608 | | 205 | | 342 | | 105 | | 158 | | 7 | | 382 | | 31 | | 204 | | 193 | 7 | 27 | **2269** |
| **2029** | | 630 | | 212 | | 354 | | 109 | | 164 | | 7 | | 400 | | 32 | | 214 | | 202 | 7 | 28 | **2359** |
| **2030** | | 652 | | 220 | | 367 | | 113 | | 170 | | 7 | | 419 | | 34 | | 224 | | 212 | 7 | 29 | **2454** |
| **2031** | | 675 | | 228 | | 380 | | 117 | | 176 | | 7 | | 439 | | 36 | | 235 | | 222 | 7 | 30 | **2552** |
| **2032** | | 699 | | 236 | | 393 | | 121 | | 183 | | 7 | | 460 | | 38 | | 246 | | 232 | 7 | 31 | **2653** |
| **2033** | | 724 | | 244 | | 407 | | 126 | | 190 | | 7 | | 482 | | 40 | | 258 | | 243 | 7 | 32 | **2760** |
| **2034** | | 750 | | 253 | | 421 | | 131 | | 197 | | 7 | | 505 | | 42 | | 270 | | 254 | 7 | 33 | **2870** |
| **2035** | | 777 | | 262 | | 436 | | 136 | | 204 | | 7 | | 529 | | 44 | | 283 | | 266 | 7 | 34 | **2985** |
| **2036** | | 805 | | 271 | | 451 | | 141 | | 212 | | 7 | | 554 | | 46 | | 296 | | 279 | 7 | 35 | **3104** |

Fuente: Informe TESA y Elaboración propia.

Referencia Tipos de vehículos (T):

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. Automóviles, Vagonetas y Jeep | | 4. Microbuses | 7. Camión Mediano |  | 10. Camión Semirremolque |
| 2. Camionetas |  | 5. Bus Mediano | 8. Camión Grande (2 ejes) | | 11. Camión Remolque |
| 3. Minibuses |  | 6. Bus Grande | 9. Camión Grande (3 ejes) | | 12. Otros (Maq. Agrícola y Constr.) |

Cuadro 6: Tránsito Promedio Diario Anual Normal en el Tramo La Angostura - Samaipata

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| **Año** | | **T1** | | **T2** | | **T3** | | **T4** | | **T5** | | **T6** | | **T7** | | **T8** | | **T9** | | **T10** | **T11** | **T12** | **TOTAL** |
| **2014** | | 559 | | 130 | | 240 | | 28 | | 112 | | 13 | | 135 | | 281 | | 159 | | 85 | 67 | 6 | **1815** |
| **2015** | | 586 | | 136 | | 252 | | 29 | | 118 | | 14 | | 143 | | 298 | | 169 | | 90 | 71 | 6 | **1912** |
| **2016** | | 615 | | 143 | | 264 | | 30 | | 124 | | 15 | | 152 | | 316 | | 179 | | 95 | 75 | 6 | **2014** |
| **2017** | | 645 | | 150 | | 277 | | 32 | | 130 | | 16 | | 161 | | 335 | | 190 | | 101 | 80 | 6 | **2123** |
| **2018** | | 677 | | 157 | | 291 | | 34 | | 137 | | 17 | | 171 | | 355 | | 202 | | 107 | 85 | 6 | **2239** |
| **2019** | | 710 | | 165 | | 305 | | 36 | | 144 | | 18 | | 181 | | 377 | | 214 | | 114 | 90 | 6 | **2360** |
| **2020** | | 736 | | 171 | | 316 | | 37 | | 150 | | 19 | | 190 | | 395 | | 224 | | 120 | 94 | 6 | **2458** |
| **2021** | | 763 | | 177 | | 328 | | 38 | | 156 | | 20 | | 199 | | 414 | | 235 | | 126 | 99 | 6 | **2561** |
| **2022** | | 791 | | 184 | | 340 | | 39 | | 162 | | 21 | | 209 | | 434 | | 246 | | 132 | 104 | 6 | **2668** |
| **2023** | | 821 | | 191 | | 353 | | 41 | | 168 | | 22 | | 219 | | 455 | | 258 | | 138 | 109 | 6 | **2781** |
| **2024** | | 852 | | 198 | | 366 | | 43 | | 174 | | 23 | | 230 | | 477 | | 271 | | 145 | 114 | 6 | **2899** |
| **2025** | | 884 | | 205 | | 380 | | 45 | | 181 | | 24 | | 241 | | 500 | | 284 | | 152 | 120 | 6 | **3022** |
| **2026** | | 917 | | 213 | | 394 | | 47 | | 188 | | 25 | | 253 | | 524 | | 298 | | 159 | 126 | 6 | **3150** |
| **2027** | | 951 | | 221 | | 409 | | 49 | | 195 | | 26 | | 265 | | 549 | | 312 | | 167 | 132 | 6 | **3282** |
| **2028** | | 986 | | 229 | | 424 | | 51 | | 203 | | 27 | | 278 | | 576 | | 327 | | 175 | 138 | 6 | **3420** |
| **2029** | | 1023 | | 238 | | 440 | | 53 | | 211 | | 28 | | 291 | | 604 | | 343 | | 183 | 145 | 6 | **3565** |
| **2030** | | 1061 | | 247 | | 456 | | 55 | | 219 | | 29 | | 305 | | 633 | | 360 | | 192 | 152 | 6 | **3715** |
| **2031** | | 1101 | | 256 | | 473 | | 57 | | 227 | | 30 | | 320 | | 664 | | 377 | | 201 | 159 | 6 | **3871** |
| **2032** | | 1142 | | 266 | | 491 | | 59 | | 236 | | 31 | | 336 | | 696 | | 395 | | 211 | 167 | 6 | **4036** |
| **2033** | | 1185 | | 276 | | 509 | | 61 | | 245 | | 32 | | 352 | | 730 | | 414 | | 221 | 175 | 6 | **4206** |
| **2034** | | 1229 | | 286 | | 528 | | 63 | | 254 | | 33 | | 369 | | 765 | | 434 | | 232 | 183 | 6 | **4382** |
| **2035** | | 1275 | | 297 | | 548 | | 65 | | 264 | | 34 | | 387 | | 802 | | 455 | | 243 | 192 | 6 | **4568** |
| **2036** | | 1323 | | 308 | | 568 | | 68 | | 274 | | 35 | | 406 | | 841 | | 477 | | 255 | 201 | 6 | **4762** |

Fuente: Informe TESA y Elaboración propia.

Referencia Tipos de vehículos (T):

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. Automóviles, Vagonetas y Jeep | | 4. Microbuses | 7. Camión Mediano |  | 10. Camión Semirremolque |
| 2. Camionetas |  | 5. Bus Mediano | 8. Camión Grande (2 ejes) | | 11. Camión Remolque |
| 3. Minibuses |  | 6. Bus Grande | 9. Camión Grande (3 ejes) | | 12. Otros (Maq. Agrícola y Constr.) |

#### Tránsito desviado

Para la determinación del tránsito desviado, se tomó como punta de partida el tránsito normal del sector “El Sillar”, luego a partir de un promedio de los registros anuales de cortes de carreteras realizado por la ABC, se realizó una suposición mediante la cual solo el 3,83% del tránsito de El Sillar se desviaría por la traza del proyecto en cuestión.

Respecto de las tasas de crecimiento de este tránsito adicional, se han tomado las mismas que para el tránsito normal de la traza (Ver apartado I.2.3.1).

A continuación, en el Cuadro 7, se detalla el tránsito desviado y su proyección futura.

Cuadro 7: Desviación del tráfico por cierre carretera nueva Santa cruz - Cochabamba

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |
| **Año** | | **T1** | **T2** | **T3** | **T4** | **T5** | **T6** | **T7** | **T8** | **T9** | **T10** | **T11** | **T12** | **TOTAL** |
| **2014** | |  |  |  |  |  | 9 |  |  | 14 | 31 | 9 |  | **63** |
| **2015** | |  |  |  |  |  | 10 |  |  | 16 | 33 | 9 |  | **68** |
| **2016** | |  |  |  |  |  | 10 |  |  | 17 | 36 | 10 |  | **73** |
| **2017** | |  |  |  |  |  | 11 |  |  | 18 | 39 | 11 |  | **79** |
| **2018** | |  |  |  |  |  | 11 |  |  | 19 | 41 | 12 |  | **83** |
| **2019** | |  |  |  |  |  | 11 |  |  | 21 | 44 | 12 |  | **88** |
| **2020** | |  |  |  |  |  | 12 |  |  | 22 | 48 | 13 |  | **95** |
| **2021** | |  |  |  |  |  | 13 |  |  | 24 | 52 | 14 |  | **103** |
| **2022** | |  |  |  |  |  | 13 |  |  | 25 | 56 | 16 |  | **110** |
| **2023** | |  |  |  |  |  | 14 |  |  | 27 | 60 | 17 |  | **118** |
| **2024** | |  |  |  |  |  | 14 |  |  | 28 | 63 | 18 |  | **123** |
| **2025** | |  |  |  |  |  | 15 |  |  | 30 | 69 | 19 |  | **133** |
| **2026** | |  |  |  |  |  | 15 |  |  | 32 | 75 | 21 |  | **143** |
| **2027** | |  |  |  |  |  | 16 |  |  | 34 | 81 | 22 |  | **153** |
| **2028** | |  |  |  |  |  | 17 |  |  | 36 | 87 | 24 |  | **164** |
| **2029** | |  |  |  |  |  | 17 |  |  | 38 | 92 | 26 |  | **173** |
| **2030** | |  |  |  |  |  | 18 |  |  | 39 | 91 | 25 |  | **173** |
| **2031** | |  |  |  |  |  | 18 |  |  | 40 | 95 | 26 |  | **179** |
| **2032** | |  |  |  |  |  | 19 |  |  | 42 | 99 | 28 |  | **188** |
| **2033** | |  |  |  |  |  | 19 |  |  | 43 | 104 | 29 |  | **195** |
| **2034** | |  |  |  |  |  | 20 |  |  | 45 | 108 | 30 |  | **203** |
| **2035** | |  |  |  |  |  | 20 |  |  | 47 | 112 | 31 |  | **210** |
| **2036** | |  |  |  |  |  | 21 |  |  | 48 | 116 | 32 |  | **217** |

Fuente: Informe TESA

Referencia Tipos de vehículos (T):

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. Automóviles, Vagonetas y Jeep | | 4. Microbuses | 7. Camión Mediano |  | 10. Camión Semirremolque |
| 2. Camionetas |  | 5. Bus Mediano | 8. Camión Grande (2 ejes) | | 11. Camión Remolque |
| 3. Minibuses |  | 6. Bus Grande | 9. Camión Grande (3 ejes) | | 12. Otros (Maq. Agrícola y Constr.) |

#### Tránsito Total

El transito total integrado por el tránsito normal más el tránsito desviado, se presenta en los Cuadros 8 y 9.

Cuadro 8: Proyección del tránsito total del Tramo Samipata - Mataral

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| **Año** | | **T1** | | **T2** | | **T3** | | **T4** | | **T5** | | **T6** | | **T7** | | **T8** | | **T9** | | **T10** | **T11** | **T12** | **TOTAL** |
| **2014** | | 357 | | 121 | | 201 | | 59 | | 89 | | 16 | | 191 | | 17 | | 116 | | 126 | 16 | 13 | **1322** |
| **2015** | | 373 | | 126 | | 210 | | 62 | | 93 | | 17 | | 202 | | 18 | | 124 | | 134 | 16 | 14 | **1389** |
| **2016** | | 390 | | 132 | | 219 | | 65 | | 98 | | 17 | | 214 | | 19 | | 131 | | 143 | 17 | 15 | **1460** |
| **2017** | | 408 | | 138 | | 229 | | 68 | | 103 | | 18 | | 226 | | 20 | | 139 | | 152 | 18 | 16 | **1535** |
| **2018** | | 426 | | 144 | | 239 | | 71 | | 108 | | 18 | | 239 | | 21 | | 147 | | 161 | 19 | 17 | **1610** |
| **2019** | | 445 | | 150 | | 250 | | 75 | | 113 | | 18 | | 253 | | 22 | | 156 | | 171 | 19 | 18 | **1690** |
| **2020** | | 461 | | 155 | | 259 | | 78 | | 117 | | 19 | | 265 | | 23 | | 163 | | 181 | 20 | 19 | **1760** |
| **2021** | | 477 | | 160 | | 268 | | 81 | | 121 | | 20 | | 277 | | 24 | | 172 | | 191 | 21 | 20 | **1832** |
| **2022** | | 494 | | 166 | | 277 | | 84 | | 126 | | 20 | | 290 | | 25 | | 180 | | 202 | 23 | 21 | **1908** |
| **2023** | | 511 | | 172 | | 287 | | 87 | | 131 | | 21 | | 304 | | 26 | | 189 | | 213 | 24 | 22 | **1987** |
| **2024** | | 529 | | 178 | | 297 | | 90 | | 136 | | 21 | | 318 | | 27 | | 198 | | 223 | 25 | 23 | **2065** |
| **2025** | | 548 | | 184 | | 308 | | 93 | | 141 | | 22 | | 333 | | 28 | | 208 | | 237 | 26 | 24 | **2152** |
| **2026** | | 567 | | 191 | | 319 | | 97 | | 146 | | 22 | | 349 | | 29 | | 218 | | 251 | 28 | 25 | **2242** |
| **2027** | | 587 | | 198 | | 330 | | 101 | | 152 | | 23 | | 365 | | 30 | | 229 | | 265 | 29 | 26 | **2335** |
| **2028** | | 608 | | 205 | | 342 | | 105 | | 158 | | 24 | | 382 | | 31 | | 240 | | 280 | 31 | 27 | **2433** |
| **2029** | | 630 | | 212 | | 354 | | 109 | | 164 | | 24 | | 400 | | 32 | | 252 | | 294 | 33 | 28 | **2532** |
| **2030** | | 652 | | 220 | | 367 | | 113 | | 170 | | 25 | | 419 | | 34 | | 263 | | 303 | 32 | 29 | **2627** |
| **2031** | | 675 | | 228 | | 380 | | 117 | | 176 | | 25 | | 439 | | 36 | | 275 | | 317 | 33 | 30 | **2731** |
| **2032** | | 699 | | 236 | | 393 | | 121 | | 183 | | 26 | | 460 | | 38 | | 288 | | 331 | 35 | 31 | **2841** |
| **2033** | | 724 | | 244 | | 407 | | 126 | | 190 | | 26 | | 482 | | 40 | | 301 | | 347 | 36 | 32 | **2955** |
| **2034** | | 750 | | 253 | | 421 | | 131 | | 197 | | 27 | | 505 | | 42 | | 315 | | 362 | 37 | 33 | **3073** |
| **2035** | | 777 | | 262 | | 436 | | 136 | | 204 | | 27 | | 529 | | 44 | | 330 | | 378 | 38 | 34 | **3195** |
| **2036** | | 805 | | 271 | | 451 | | 141 | | 212 | | 28 | | 554 | | 46 | | 344 | | 395 | 39 | 35 | **3321** |

Fuente: Informe TESA y Elaboración propia.

Referencia Tipos de vehículos (T):

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. Automóviles, Vagonetas y Jeep | | 4. Microbuses | 7. Camión Mediano |  | 10. Camión Semirremolque |
| 2. Camionetas |  | 5. Bus Mediano | 8. Camión Grande (2 ejes) | | 11. Camión Remolque |
| 3. Minibuses |  | 6. Bus Grande | 9. Camión Grande (3 ejes) | | 12. Otros (Maq. Agrícola y Constr.) |

Cuadro 9: Proyección del tránsito total del Tramo La Angostura – Samipata

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| **Año** | | **T1** | | **T2** | | **T3** | | **T4** | | **T5** | | **T6** | | **T7** | | **T8** | | **T9** | | **T10** | **T11** | **T12** | **TOTAL** |
| **2014** | | 559 | | 130 | | 240 | | 28 | | 112 | | 22 | | 135 | | 281 | | 173 | | 116 | 76 | 6 | **1878** |
| **2015** | | 586 | | 136 | | 252 | | 29 | | 118 | | 24 | | 143 | | 298 | | 185 | | 123 | 80 | 6 | **1980** |
| **2016** | | 615 | | 143 | | 264 | | 30 | | 124 | | 25 | | 152 | | 316 | | 196 | | 131 | 85 | 6 | **2087** |
| **2017** | | 645 | | 150 | | 277 | | 32 | | 130 | | 27 | | 161 | | 335 | | 208 | | 140 | 91 | 6 | **2202** |
| **2018** | | 677 | | 157 | | 291 | | 34 | | 137 | | 28 | | 171 | | 355 | | 221 | | 148 | 97 | 6 | **2322** |
| **2019** | | 710 | | 165 | | 305 | | 36 | | 144 | | 29 | | 181 | | 377 | | 235 | | 158 | 102 | 6 | **2448** |
| **2020** | | 736 | | 171 | | 316 | | 37 | | 150 | | 31 | | 190 | | 395 | | 246 | | 168 | 107 | 6 | **2553** |
| **2021** | | 763 | | 177 | | 328 | | 38 | | 156 | | 33 | | 199 | | 414 | | 259 | | 178 | 113 | 6 | **2664** |
| **2022** | | 791 | | 184 | | 340 | | 39 | | 162 | | 34 | | 209 | | 434 | | 271 | | 188 | 120 | 6 | **2778** |
| **2023** | | 821 | | 191 | | 353 | | 41 | | 168 | | 36 | | 219 | | 455 | | 285 | | 198 | 126 | 6 | **2899** |
| **2024** | | 852 | | 198 | | 366 | | 43 | | 174 | | 37 | | 230 | | 477 | | 299 | | 208 | 132 | 6 | **3022** |
| **2025** | | 884 | | 205 | | 380 | | 45 | | 181 | | 39 | | 241 | | 500 | | 314 | | 221 | 139 | 6 | **3155** |
| **2026** | | 917 | | 213 | | 394 | | 47 | | 188 | | 40 | | 253 | | 524 | | 330 | | 234 | 147 | 6 | **3293** |
| **2027** | | 951 | | 221 | | 409 | | 49 | | 195 | | 42 | | 265 | | 549 | | 346 | | 248 | 154 | 6 | **3435** |
| **2028** | | 986 | | 229 | | 424 | | 51 | | 203 | | 44 | | 278 | | 576 | | 363 | | 262 | 162 | 6 | **3584** |
| **2029** | | 1023 | | 238 | | 440 | | 53 | | 211 | | 45 | | 291 | | 604 | | 381 | | 275 | 171 | 6 | **3738** |
| **2030** | | 1061 | | 247 | | 456 | | 55 | | 219 | | 47 | | 305 | | 633 | | 399 | | 283 | 177 | 6 | **3888** |
| **2031** | | 1101 | | 256 | | 473 | | 57 | | 227 | | 48 | | 320 | | 664 | | 417 | | 296 | 185 | 6 | **4050** |
| **2032** | | 1142 | | 266 | | 491 | | 59 | | 236 | | 50 | | 336 | | 696 | | 437 | | 310 | 195 | 6 | **4224** |
| **2033** | | 1185 | | 276 | | 509 | | 61 | | 245 | | 51 | | 352 | | 730 | | 457 | | 325 | 204 | 6 | **4401** |
| **2034** | | 1229 | | 286 | | 528 | | 63 | | 254 | | 53 | | 369 | | 765 | | 479 | | 340 | 213 | 6 | **4585** |
| **2035** | | 1275 | | 297 | | 548 | | 65 | | 264 | | 54 | | 387 | | 802 | | 502 | | 355 | 223 | 6 | **4778** |
| **2036** | | 1323 | | 308 | | 568 | | 68 | | 274 | | 56 | | 406 | | 841 | | 525 | | 371 | 233 | 6 | **4979** |

Fuente: Informe TESA y Elaboración propia

Referencia Tipos de vehículos (T):

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. Automóviles, Vagonetas y Jeep | | 4. Microbuses | 7. Camión Mediano |  | 10. Camión Semirremolque |
| 2. Camionetas |  | 5. Bus Mediano | 8. Camión Grande (2 ejes) | | 11. Camión Remolque |
| 3. Minibuses |  | 6. Bus Grande | 9. Camión Grande (3 ejes) | | 12. Otros (Maq. Agrícola y Constr.) |

.

## Parámetros utilizados para la evaluación socioeconómica

### Tasa Social de Descuento

La tasa social de descuento es el parámetro utilizado para determinar la equivalencia entre los flujos de costos y beneficios presentes y futuros.

La tasa social de descuento a utilizar en la evaluación económica de un proyecto debe reflejar el costo de oportunidad de los recursos; y para la presente evaluación se aplicó el 12% valor que es normalmente utilizado por el Banco.

### Período de Evaluación

Este período considera la inversión y los del tiempo de vida del proyecto. Para el presente análisis, se ha considerado un período de análisis de 20 años, conforme al siguiente escenario:

2018 – 2020 – Inversión: Se prevé los trabajos de rehabilitación de la carretera tengan lugar entre los años 2018 a 2020

2021 – 2036 – Operación de la Carretera, los cuales empiezan a regir desde el momento en que finalizan las obras.

### Factor de Precio Sombra

El Precio Sombra es el valor de la contribución a los objetivos socio-económicos de un cambio marginal de un bien o producto.

El Precio Sombra corresponde al precio de mercado de un bien o producto, pero corregido por un factor para eliminar las distorsiones con el fin de precisar el verdadero valor que asigna la Sociedad a un determinado bien o producto.

En general, para obtener el precio real de un bien o producto, su precio de mercado se afecta por factores de conversión particulares aplicados a los elementos que lo integran (mano de obra calificada, no calificada, materiales nacionales, materiales importados, equipos demás bienes transables y no transables). Como ya se detalló en apartados anteriores, los costos analizados en un proyecto de carreteras se agrupan en los de la intervención (mejoramiento o rehabilitación), costos de mantenimiento y costos de operación vehicular (COV). Cada uno de ellos está integrado por una relación particular de sus elementos de costo (mano de obra, materiales, maquinaria, etc.).

Para un análisis detallado de precios económicos, se estudian los impuestos, aranceles y márgenes de comercialización en los principales elementos de costos en cada uno de los sectores analizados y se deduce de los costos a precios financieros. De esta manera, para los múltiples elementos componentes, se presentan los distintos factores.

Cuadro 10: Factores Precio Sombra

|  |  |
| --- | --- |
| **Razón Precio/Cuenta de Eficiencia** | **Factor** |
| RCP de la Divisa, Materiales Importados | 1,24 |
| RCP Materiales Locales | 1,00 |
| RCP Mano de Obra No Calificada Urbana | 0,23 |
| RCP Mano de Obra no Calificada Rural | 0,47 |
| RCP Mano de Obra Semicalificada | 0,43 |
| RCP Mano de Obra Calificada | 1,00 |

Fuente: Ministerio de Hacienda (2007).

Complementariamente, para la determinación del Costo Económico de todo el Proyecto, se emplea la metodología del Ministerio de Hacienda, la cual mediante la multiplicación de los costos de los componentes del proyecto por sus respectivos factores precio sombra, determinan un factor estándar de conversión.

Cuadro 11: Calculo Del Factor FCE

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Materiales Importados** | **Materiales Nacionales** | **Mano de Obra Especializada** | **Mano de Obra No Especializada** | **Equipo Importado** | **Herramienta** | **Cargas Sociales** | **IVA** | **Gastos Grales** | **Utilidad** | **Impuestos**  **IT** | **Costo Total** |
| Costos Subtotales (U$S) | 1,023,358.52 | 16,303,798.66 | 2,492,644.68 | 2,014,214.36 | 12,033,971.16 | 396,368.41 | 3,705,262.31 | 1,226,809.55 | 6,913,086.98 | 3,592,208.37 | 1,536,716.10 | 51,238,439.08 |
| Incidencia Costo Total (%) | 2.00 | 31.82 | 4.86 | 3.93 | 23.49 | 0.77 | 7.23 | 2.39 | 13.49 | 7.01 | 3.00 | 100.0 |
| Factor | 1.24 | 1.00 | 1.00 | 0.23 | 1.24 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 |  |
| Incidencia \* Factor | 0.0248 | 0.3182 | 0.0486 | 0.0090 | 0.2912 | 0.0077 | 0.00 | 0.00 | 0.1349 | 0.0701 | 0.00 | 0.9046 |

Fuente: Informe TESA y Elaboración propia.

# Beneficios Económicos

Los beneficios económicos identificados, están constituidos básicamente por los ahorros en costos de operación vehicular y tiempos de viaje de los usuarios que utilizan el sistema vial analizado. A continuación se describen los impactos valorados en el presente análisis.

Esta reducción de los costos al usuario son aplicados a la demanda (TPDA) normal y generada, a lo largo del tiempo de vida del proyecto (en este caso 20 años), que luego de ser agregada es comparada con los gastos (inversión y mantenimiento) también agregados.

Para la modelización en el HDM4 de dicha demanda, detallada en los Cuadros 5 a 9 del presente informe, se han adoptado los siguientes criterios:

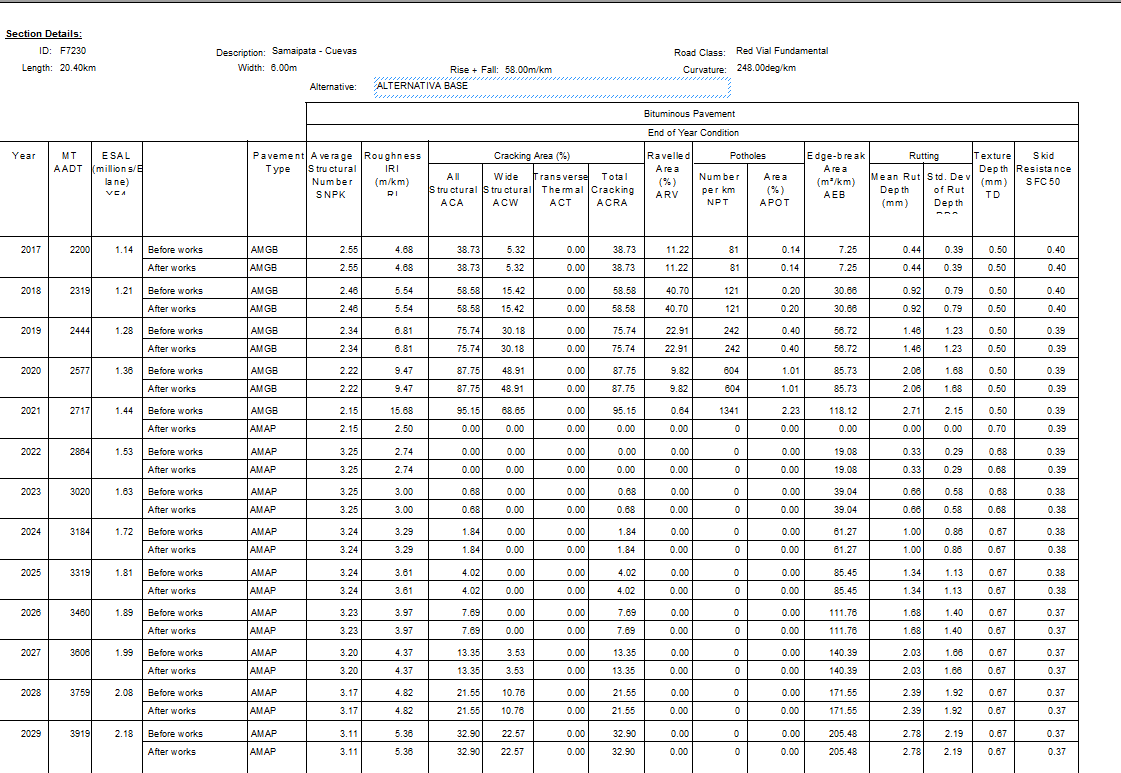
|  |  |
| --- | --- |
| **Clasificación Vehicular HDM4** | **Clasificación Vehicular Conteos** |
| 1. Liviano | Automóviles, Vagonetas y Jeep |
| 1. Utilitario | Camionetas + Minibuses |
| 1. Minibuses | Microbuses + Otros (Maq. Agrícola y Constr.) |
| 1. Bus Medio | Bus Mediano |
| 1. Bus | Bus Grande |
| 1. Camión Medio | Camión Mediano |
| 1. Camión Grande | Camión Grande (2 ejes) + Camión Grande (3 ejes) |
| 1. Camión con articulación | Camión Semirremolque + Camión Remolque |

# Mejora de la rugosidad de la vía

A medida que los trabajos de mantenimiento y rehabilitación sean menores, el estado de la calzada se deteriorará con el consecuente incremento de fallas que esto implica. Esta situación se traducirá, a su vez, en un aumento de la regularidad de la calzada y una disminución tanto de la conformidad de los usuarios, como de la velocidad de circulación.

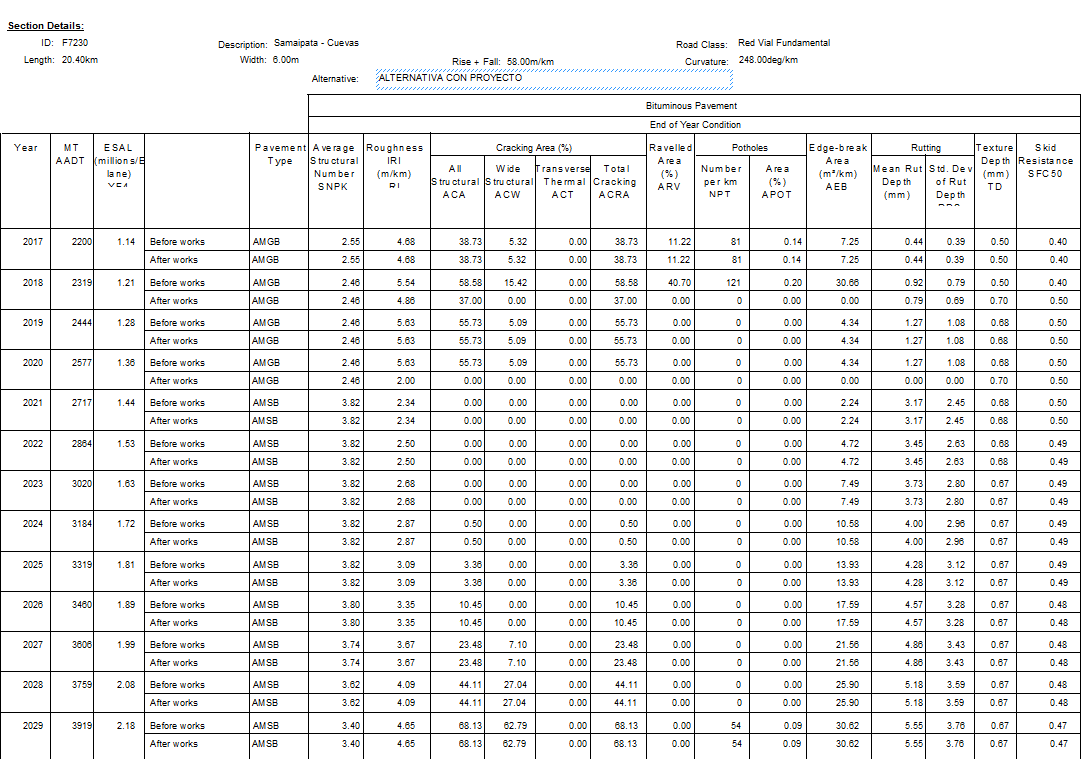
En los Cuadros sucesivos (12 a 13) se presentan algunas de las salidas del HDM4, a modo de ejemplo, donde se muestra la correlación entre las intervenciones en la calzada, la regularidad superficial y las fallas.

Cuadro 12: Condición del Pavimento año a año - Sección Samaipata-Cuevas

Alternativa Base o Sin Proyecto

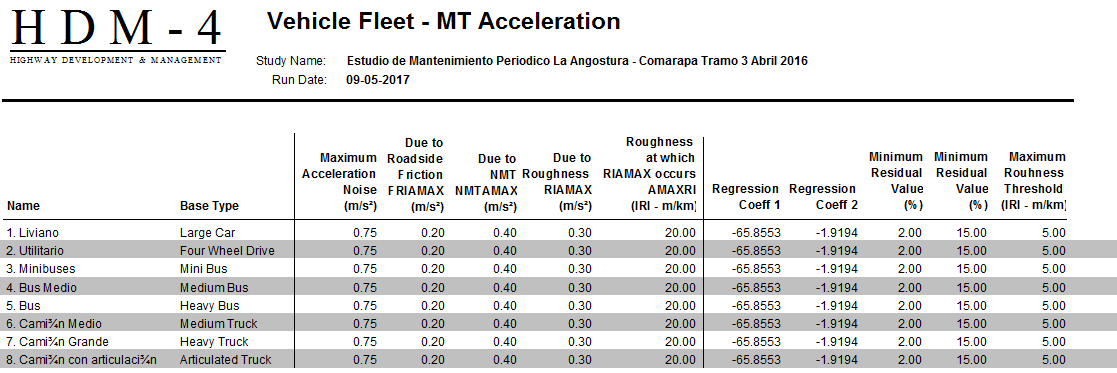
Cuadro 13: Condición del Pavimento año a año - Sección Samaipata-Cuevas

Alternativa Proyecto

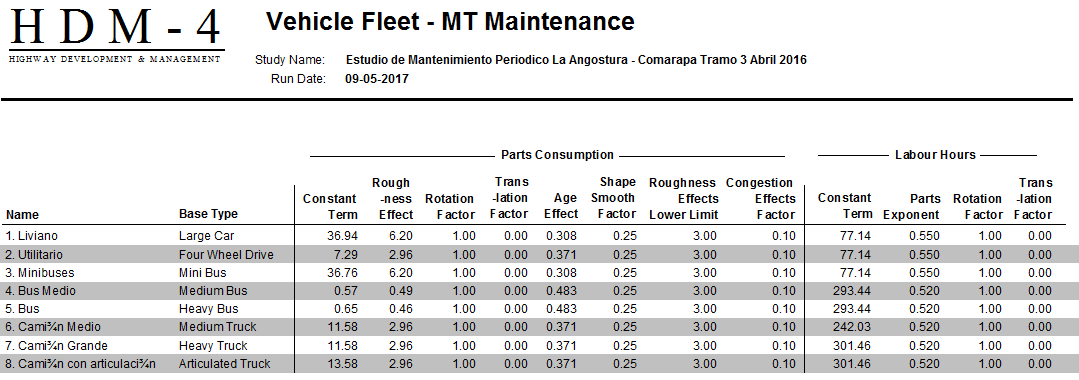


Por otra parte, en los cuadros 14 a 15 se exponen algunos de los parámetros involucrados en la modelación del comportamiento los vehículos.

Cuadro 14: Incidencia de la rugosidad en la Calibración de la Aceleración de los Vehículos



Cuadro 15: Incidencia de la rugosidad en la Calibración de las tareas de Mantenimiento



A partir de ellos, se puede apreciar la incidencia de la rugosidad de la vía en los costos de operación de los vehículos que la utilizan.

A continuación se presentan las Figuras 2 a 4 donde se muestra de manera gráfica la mejora sustancial en la rugosidad, y en consecuencia del costo vehicular, que se genera con la ejecución del Proyecto.

Figura 2: Evolución de la rugosidad de subtramo “Mairana – Samaipata”

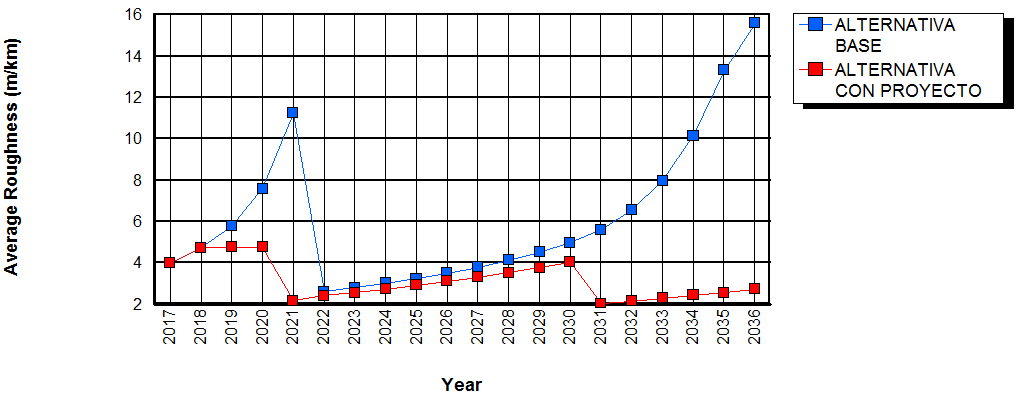


Figura 3: Evolución de la rugosidad de subtramo “Samaipata - Cuevas”

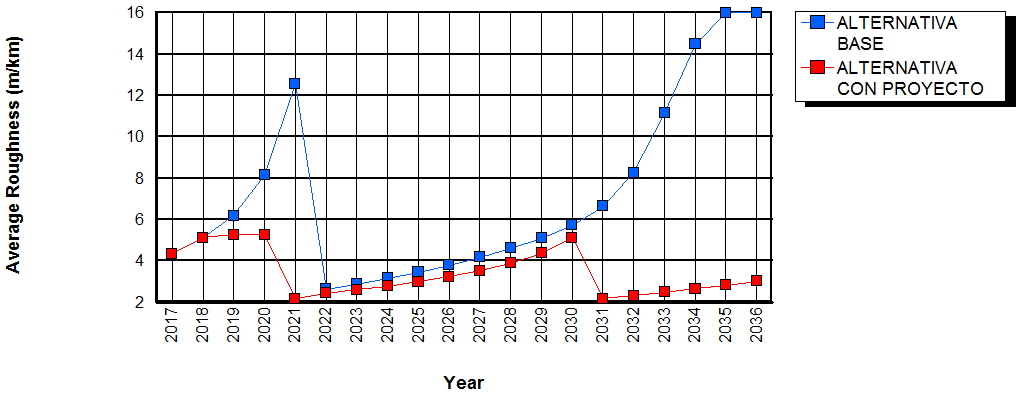
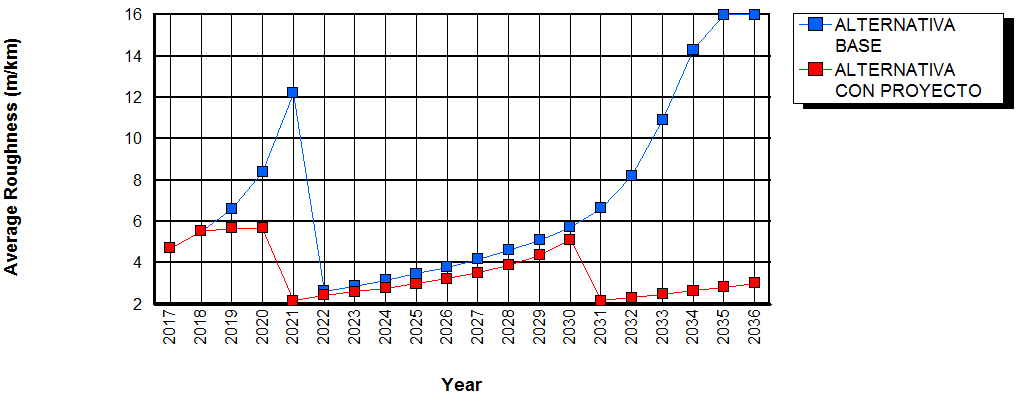


Figura 4: Evolución de la rugosidad de subtramo “Cuevas – Bermejo”



# Incremento de la velocidad de operación

En consecuencia con lo antes expuesto, una mejora de la carretera resultará también en una mejora de las velocidades de circulación y una reducción del tiempo de recorrido.

Esta reducción del tiempo de viaje puede traducirse indirectamente en términos económicos ya que, como todo recurso, el tiempo tiene un valor en función al propósito del viaje.

Si un viaje toma tiempo de trabajo, significa que la sociedad está perdiendo la producción del trabajador en la proporción equivalente a las horas que pasa viajando. En cambio, para los viajes que tienen como motivo el esparcimiento y/o turismo, el valor del tiempo en juego es mucho menor (33% valor de una hora de trabajo), ya que se trata del tiempo de ocio.

Cuadro 14: Costo promedio de los pasajeros

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Salario Nominal 2013 Bs** | **Beneficios Sociales 60% Bs** | **Valor Tiempo**  **Bs / Hr** | **Valor del Tiempo $US / Hr.** | **Valor tiempo de Ocio 33% $US / Hr** |
| General | 3,557.00 | 5,691.20 | 23.71 | 3.41 | 1.12 |
| Gerentes Administradores | 14,942.00 | 23,907.20 | 99.61 | 14.31 | 4.72 |
| Profesionales | 5,087.00 | 8,139.20 | 33.91 | 4.87 | 1.61 |
| Otros Profesionales | 6,752.00 | 10,803.20 | 45.01 | 6.47 | 2.13 |
| Empleados | 2,966.00 | 4,745.60 | 19.77 | 2.84 | 0.94 |
| Otros Empleados | 3,169.00 | 5,070.40 | 21.13 | 3.04 | 1.00 |
| Obreros Especializados | 2147 | 3,435.20 | 14.31 | 2.06 | 0.68 |
| Otros Obreros | 1,751.00 | 2,801.60 | 11.67 | 1.68 | 0.55 |

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Elaboración Propia

En las Figuras 5-10 presentadas a continuación, se observan las variaciones en las velocidades de operación para cada tipo de vehículo. Se puede ver que existe un incremento en las velocidades medias para la alternativa de rehabilitación propuesta, con respecto a la alternativa base, que evoluciona en coincidencia con la rugosidad y las obras del proyecto.

Por ejemplo: en la Alternativa con Proyecto se observa un incremento notable en la velocidad de todos los vehículos luego de la realización de la obra de ensanche en 2018.

Mientras que en la Alternativa Base la pérdida de velocidad hacia 2021 y su posterior recuperación, coincide con la ejecución de la obra de rehabilitación como consecuencia del aumento precipitado de la rugosidad en los 2 años previos.

Figura 5: Velocidad de Operación del subtramo “Mairana – Samaipata” -Alternativa Base

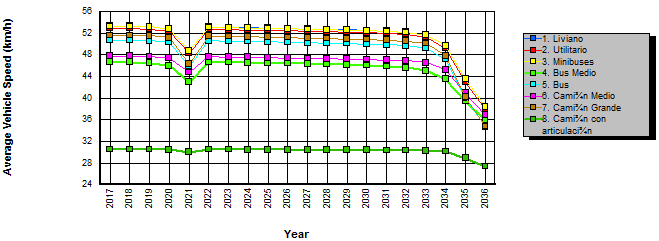


Figura 6: Velocidad de Operación del subtramo “Samaipata - Cuevas” -Alternativa Base

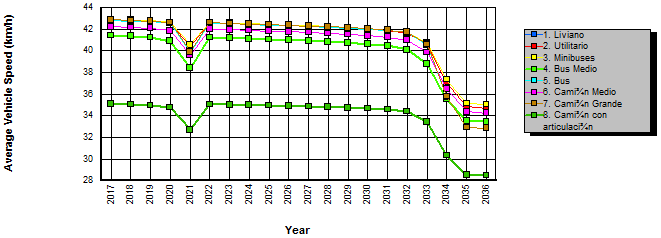


Figura 7: Velocidad de Operación del subtramo “Cuevas – Bermejo” -Alternativa Base

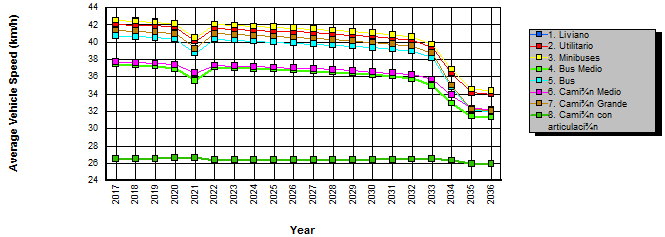


Figura 8: Velocidad de Operación del subtramo “Mairana – Samaipata” -Alternativa Con Proyecto

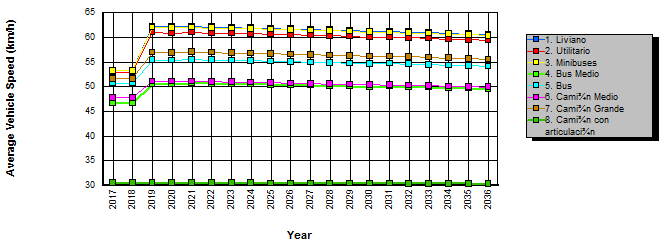


Figura 9: Velocidad de Operación del subtramo “Samaipata - Cuevas” -Alternativa Con Proyecto

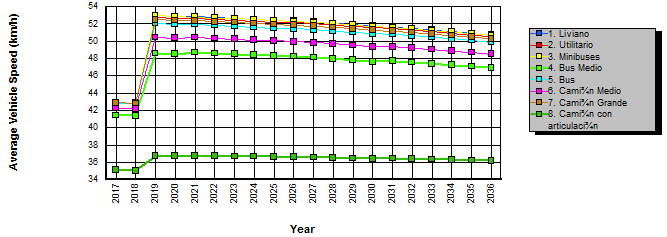
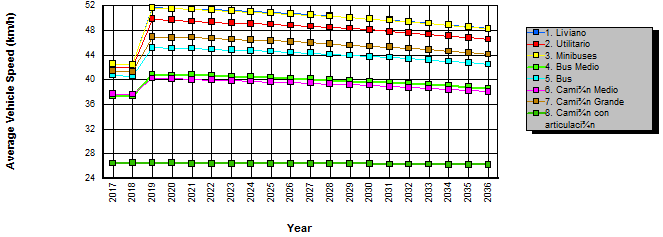


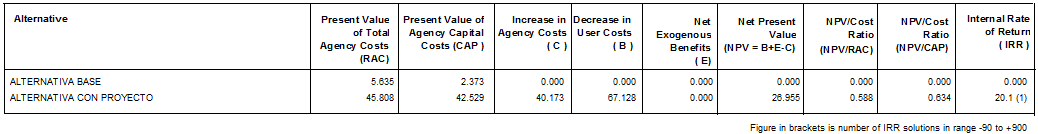
Figura 10: Velocidad de Operación del subtramo “Cuevas – Bermejo” -Alternativa Con Proyecto



# Beneficios totales

El flujo de beneficios resultantes de comparar los costos totales del transporte calculados para el proyecto, en comparación a los correspondientes a la opción Base se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16: Resumen de Flujos(En US$ Millones)



# Costos económicos

Los precios económicos utilizados en el análisis han sido establecidos a partir del ajuste de los precios financieros a efectos de eliminar la distorsión generada por los impuestos, aranceles y márgenes de comercialización en los principales elementos de costos.

# Costos de Mantenimiento

Los costos de las actividades de mantenimiento utilizados en el análisis de las diferentes alternativas; así como sus criterios de intervención, se presentan a continuación:

# Alternativas Sin Proyecto

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nombre de la Actividad** | **Unidad** | **Frecuencia** | **Costo Financiero (US$)** | **Costo Económico (US$)** |
| Mejoramiento en Tercer Grado – Microempresas | Km/Año | Anual | 1035 | 486.4 |
| Mejoramiento en segundo grado - Empresas | Km/Año | Anual | 6878 | 5928 |
| Administración y Supervisión | Km/Año | Anual | 285 | 285 |
| Intervención Responsiva para IRI >12.  Refuerzo 5 cm | m2 | IRI >12 m/km | 10.692 | 12.404 |

# Alternativas Con Proyecto

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nombre de la Actividad** | **Unidad** | **Frecuencia** | **Costo Financiero (US$)** | **Costo Económico (US$)** |
| Mejoramiento en Tercer Grado – Microempresas | Km/Año | Anual | 1035 | 486.4 |
| Mejoramiento en segundo grado - Empresas | Km/Año | Anual | 5444 | 4962 |
| Mantenimiento Periódico:  Refuerzo 6 cm | m2 | Cada 10 años | 14.624 | 12.605 |
| Administración y Supervisión | Km/Año | Anual | 285 | 285 |

# Costos de la Intervención

El costo de la intervención se presenta en el Cuadro 17

**Cuadro 17: Costo de la intervención**

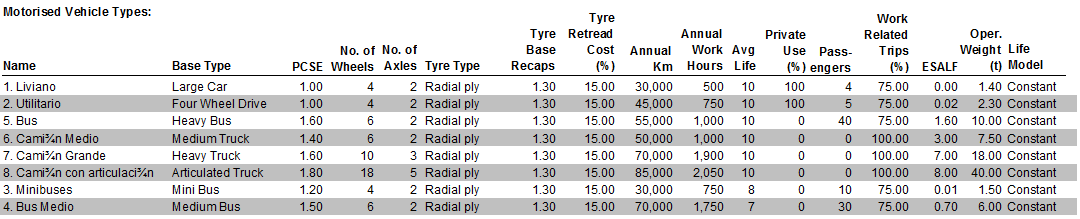
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Costo Financiero del Proyecto (\*)**  **U$$** | **Longitud**  **Km** | **Costo Financiero por Kilómetro**  **U$$/Km** | **FCE** | **Costo Económico por Kilómetro**  **U$$/Km** |
| 57,130,859.58 | 58.2 | 981,629.89 | 0.9046 | 887,982.39 |

(\*)Este Costo incluye además de la construcción, la Fiscalización y Supervisión del Proyecto.

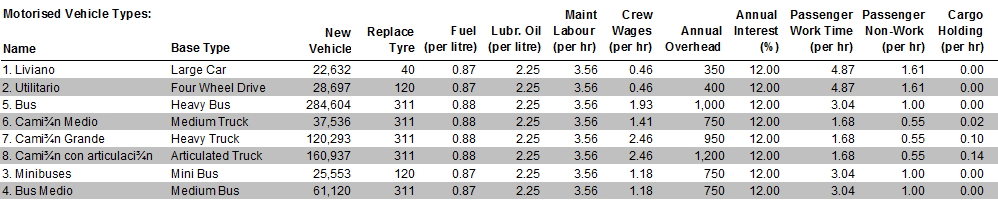
# Costos de Operación Vehicular

Con el HDM-4, los COV se determinan en función del estado y características funcionales de la vía, así como el efecto de las estrategias de conservación programadas. A su vez, los costos de operación particulares para cada tipo de vehículo tienen relación con sus características físicas, mecánicas y de utilización; así como del valor de los insumos necesarios para su funcionamiento. Los valores característicos de cada vehículo utilizados en este análisis, se presentan en los Cuadros 18 y 19.

Cuadro 18: Datos de Utilización y características Físicas de la Flota Vehicular



Cuadro 19: Valores económicos de los Insumos de la Flota Vehicular



# Resultados Económicos

Los indicadores económicos principales que obtiene el HDM-4 son:

* VPN El Valor Presente Neto o Valor Actual Neto (VAN)
* TIR La Tasa Interna de Retorno

Además, utilizando los flujos de caja del HDM-4 se puede obtener la relación Beneficio/Costo (B/C).

El VPN es la diferencia de los beneficios 'actualizados' provenientes de un proyecto menos los costos de capital originados por su construcción también 'actualizados'.

La TIR consiste en la 'tasa de descuento' para la cual los beneficios igualan a los costos (VPN igual a cero).

La relación Beneficio/Costo se refiere al factor obtenido de la división de los Beneficios actualizados por los costos también actualizados. Este indicador no es determinado por el HDM-4, para este efecto se debería recurrir a la revisión de los flujos de caja.

Resumiendo:

* + VPN = [Σ (Benef. Actualiz.) ] - [Σ (Costos Actualiz.) ]
  + TIR : Σ [ (Benef. - Costos) / (1+TIR)n ] = 0
  + B / C = [Σ (Benef. Actualiz.) ] / [Σ (Costos Actualiz.) ]
  + Factor de Actualización fd = 1 / (1+i)n
  + Donde: i = Tasa de descuento (12.00 %)

n = Número de años a partir del año base.

La factibilidad de un proyecto basada en los indicadores requiere que el VPN para la tasa de descuento 'i' sea positivo, que la TIR sea mayor que el costo de oportunidad (i = 12,00%) y, que la relación B/C sea mayor a 1.

El sumario de los supuestos y parámetros empleados para la determinación de la rentabilidad del proyecto mediante el HDM4, descriptos anteriormente en los ítems previos, se presenta a modo de resumen en el siguiente cuadro:

|  |  |
| --- | --- |
| Parámetro | Valores adoptados / Fuente |
| Período de Análisis | 20 |
| Tasa de descuento | 12% |
| Demanda (Tránsito) | Ver punto II.2.3 del presente informe  Fuentes: Estudios de tránsito del TESA |
| COV según Categorías de Vehículo | Ver punto IV.3 del presente informe  Fuentes: Informe TESA ( <http://www.aduana.gob.bo/aduana7/>; precios de mercado; Instituto Nacional de Estadística) |
| Costos de Mantenimiento | Ver punto IV.1 del presente informe  Fuentes: Informe TESA (Ministerio de Hacienda (2007) (FCE);  PROCESO DE LICITACIÓN PUBLICA NACIONAL: LPN 008/2014 “EJECUCTÓN DE OBRAS PARA EL SERVICIO DE CONSERVACIÓN VIAL DEL TRAMO SC 04: COMARAPA – SANTA CRUZ" (PRIMERA CONVOCATORIA;  RESUMEN DE OPERACION DE CONSERVACION VIAL - PROGRAMA DE CONSERVACIÓN VIAL CON MICROEMPRESAS) |
| Costos de Inversión |
| Beneficios usuarios | Ver punto III del presente informe  Ahorros en COV=  COV sin proyecto – COV Con proyecto |
| Ver punto III del presente informe  Ahorros en Tiempo de viaje=  Tviaje sin proyecto – Tviaje Con proyecto |

De esta manera, los indicadores económicos obtenidos para la evaluación del presente proyecto, se presentan en el Cuadro 21:

Cuadro 21: Resumen Análisis Económico(En US$ Millones)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| H D M - 4 |  | **Resumen del análisis económico** | | | | | | | |  |
| HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT | | | |  | |  | |  | |  |
|  |  | Nombre del estudio: | | **Estudio de Mantenimiento Periodico La Angostura - Comarapa Tramo 3 Abril 2016** | | | | | | |
|  |  | Fecha de ejecución: | | **09-05-2017** | |  |  | |  | |
|  |  | Unidad monetaria: | | **US Dollar (millones)** | | |  | |  | |
|  |  | Tasa : | | **12.00%** |  | |  | |  | |
|  |  |  | |  |  | |  | |  | |
| **Alternativa: ALTERNATIVA CON PROYECTO vs Alternativa: ALTERNATIVA BASE** | | | | | | | | | | |
|  | | | | |  | |  | |  | |
| **Alternativa** | **Incremento en costos de la agencia de carreteras** | | | | **Ahorros en COV del TM** | | **Ahorros en costos de tiempo de viaje del TM** | | **Beneficios económicos netos (VPN)** | |
|  | **Inversión** | **Recurrentes** | **Especiales** | |  | |  | |  | |
| Sin actualizar | 53.08 | -0.73 | 0.00 | | 196.36 | | 81.68 | | 225.69 | |
| Actualizado | 40.16 | 0.02 | 0.00 | | 43.72 | | 23.41 | | 26.95 | |
|  |  |  |  | |  | |  | |  | |
| **Tasa interna de retorno económico (TIRE) = 20.1%** | | | | | | | | |  | |

Complementariamente, en los Cuadros 22 a 27, se adjunta el detalle de los flujos de fondos de cada sección, tanto descontados como sin descontar.

Cuadro 22: Flujo de Fondos Descontados- Tramo Mairana - Samaipata (En US$ Millones)



Cuadro 23: Flujo de Fondos Descontados- Tramo Samaipata - Cuevas (En US$ Millones)



Cuadro 24: Flujo de Fondoss Descontados- Tramo Cuevas-Bermejo (En US$ Millones)

3

Cuadro 25: Flujo de Fondos Sin Descontar Tramo Mairana-Samaipata (En US$ Millones)



Cuadro 26: Flujo de Fondos Sin Descontar Tramo Samaipata-Cuevas (En US$ Millones)



Cuadro 27: Flujo de Fondos Sin Descontar Tramo Cuevas-Bermejo (En US$ Millones)



# Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad permite probar la consistencia de los resultados frente a variaciones de los parámetros de costos y beneficios.

Por un lado, se evalúa distintos escenarios en los que se incrementan los costos de inversión y/o mantenimiento, para advertir si los resultados aún se mantienen positivos frente a contingencias de costos subestimados o incrementos no considerados en los cálculos iniciales.

De igual modo, se analiza la repercusión de posibles reducciones en los beneficios de los usuarios, como por ejemplo: un crecimiento menor del tránsito o un reajuste de los pesos de operación de los vehículos, a la rentabilidad del proyecto.

Finalmente, y para cubrir la mayor cantidad posible de escenarios, una vez estudiados los efectos individuales tanto de los costos como de los beneficios, se evaluó el efecto combinado de ambos como se muestra en el Cuadro 28 a continuación:

Cuadro 28: Escenarios de Análisis.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Escenario** | **Incremento Costos (%)** | **Reducción Beneficios (%)** |
| a) | 5 |  |
| b) | 10 |  |
| c) | 20 |  |
| d) |  | 5 |
| e) |  | 10 |
| f) |  | 20 |
| g) | 5 | 5 |
| h) | 10 | 10 |
| i) | 20 | 20 |

Cabe destacar que los porcentajes empleados para el análisis, resultan acordes a la experiencia en la incrementación del costo de la obra por ajustes del proyecto de diversa índole (demoras imprevistas en la ejecución del proyecto; surgimiento de nuevas necesidades por parte de la población, etc.). De la misma manera, los porcentajes de reducción de beneficios se han adoptado teniendo en cuenta las variaciones posibles en la calidad de la obra terminada respecto de los parámetros de diseño, sobre todo en lo relativo a la regularidad de la superficie de la calzada.

Sobre la base del reporte de “Comparación de Costos” del HDM4, se aplican de manera directa los distintos porcentajes de variación descriptos para cada uno de los escenarios del Cuadro 21. El detalle del flujo de los Beneficios Netos obtenido para cada situación, se muestra en los Cuadros 29-37.

Cuadro 29: Análisis de Sensibilidad – Escenario a)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Increase in Road Agency Costs** | | | **Decrease in Road User Costs** | | | **Net Exogenous Benefits** | **Total Net Benefits** |
| **Capital Works** | **Recurrent Works** | **Special Works** | **MT VOC** | **MT Time** | **Accident** |
| **Cost** |
| **Reduction** |
| 2017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2018 | 17.907 | 0.440 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -18.347 |
| 2019 | 18.179 | 0.000 | 0.000 | 2.333 | 2.455 | 0.000 | 0.000 | -13.391 |
| 2020 | 18.179 | 0.000 | 0.000 | 4.817 | 2.655 | 0.000 | 0.000 | -10.706 |
| 2021 | -3.920 | -0.076 | 0.000 | 13.991 | 3.784 | 0.000 | 0.000 | 21.771 |
| 2022 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 1.430 | 2.813 | 0.000 | 0.000 | 4.319 |
| 2023 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 1.551 | 2.945 | 0.000 | 0.000 | 4.572 |
| 2024 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 1.770 | 3.084 | 0.000 | 0.000 | 4.930 |
| 2025 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 2.179 | 3.199 | 0.000 | 0.000 | 5.454 |
| 2026 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 2.587 | 3.318 | 0.000 | 0.000 | 5.981 |
| 2027 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 2.862 | 3.441 | 0.000 | 0.000 | 6.379 |
| 2028 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 3.116 | 3.569 | 0.000 | 0.000 | 6.760 |
| 2029 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 3.326 | 3.700 | 0.000 | 0.000 | 7.102 |
| 2030 | 5.392 | -0.076 | 0.000 | 3.395 | 3.835 | 0.000 | 0.000 | 1.913 |
| 2031 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 9.661 | 4.036 | 0.000 | 0.000 | 13.773 |
| 2032 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 13.377 | 4.278 | 0.000 | 0.000 | 17.731 |
| 2033 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 20.071 | 5.002 | 0.000 | 0.000 | 25.149 |
| 2034 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 30.237 | 7.492 | 0.000 | 0.000 | 37.804 |
| 2035 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 38.193 | 10.356 | 0.000 | 0.000 | 48.625 |
| 2036 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 41.458 | 11.719 | 0.000 | 0.000 | 53.252 |
|  | **55.736** | **-0.768** | **0.000** | **196.356** | **81.682** | **0.000** | **0.000** | **223.070** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **TIR =** | **19.2%** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **VAN =** | **$24.946** |

Cuadro 30: Análisis de Sensibilidad – Escenario b)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Increase in Road Agency Costs** | | | **Decrease in Road User Costs** | | | **Net Exogenous Benefits** | **Total Net Benefits** |
| **Capital Works** | **Recurrent Works** | **Special Works** | **MT VOC** | **MT Time** | **Accident** |
| **Cost** |
| **Reduction** |
| 2017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2018 | 18.760 | 0.461 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -19.221 |
| 2019 | 19.044 | 0.000 | 0.000 | 2.333 | 2.455 | 0.000 | 0.000 | -14.256 |
| 2020 | 19.044 | 0.000 | 0.000 | 4.817 | 2.655 | 0.000 | 0.000 | -11.572 |
| 2021 | -4.107 | -0.079 | 0.000 | 13.991 | 3.784 | 0.000 | 0.000 | 21.962 |
| 2022 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 1.430 | 2.813 | 0.000 | 0.000 | 4.322 |
| 2023 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 1.551 | 2.945 | 0.000 | 0.000 | 4.575 |
| 2024 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 1.770 | 3.084 | 0.000 | 0.000 | 4.934 |
| 2025 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 2.179 | 3.199 | 0.000 | 0.000 | 5.458 |
| 2026 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 2.587 | 3.318 | 0.000 | 0.000 | 5.984 |
| 2027 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 2.862 | 3.441 | 0.000 | 0.000 | 6.383 |
| 2028 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 3.116 | 3.569 | 0.000 | 0.000 | 6.763 |
| 2029 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 3.326 | 3.700 | 0.000 | 0.000 | 7.105 |
| 2030 | 5.649 | -0.079 | 0.000 | 3.395 | 3.835 | 0.000 | 0.000 | 1.660 |
| 2031 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 9.661 | 4.036 | 0.000 | 0.000 | 13.776 |
| 2032 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 13.377 | 4.278 | 0.000 | 0.000 | 17.734 |
| 2033 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 20.071 | 5.002 | 0.000 | 0.000 | 25.153 |
| 2034 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 30.237 | 7.492 | 0.000 | 0.000 | 37.807 |
| 2035 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 38.193 | 10.356 | 0.000 | 0.000 | 48.628 |
| 2036 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 41.458 | 11.719 | 0.000 | 0.000 | 53.256 |
|  | **58.390** | **-0.805** | **0.000** | **196.356** | **81.682** | **0.000** | **0.000** | **220.452** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **TIR =** | **18.4%** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **VAN =** | **$22.937** |

Cuadro 31: Análisis de Sensibilidad – Escenario c)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Increase in Road Agency Costs** | | | **Decrease in Road User Costs** | | | **Net Exogenous Benefits** | **Total Net Benefits** |
| **Capital Works** | **Recurrent Works** | **Special Works** | **MT VOC** | **MT Time** | **Accident** |
| **Cost** |
| **Reduction** |
| 2017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2018 | 20.465 | 0.503 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -20.968 |
| 2019 | 20.776 | 0.000 | 0.000 | 2.333 | 2.455 | 0.000 | 0.000 | -15.988 |
| 2020 | 20.776 | 0.000 | 0.000 | 4.817 | 2.655 | 0.000 | 0.000 | -13.303 |
| 2021 | -4.480 | -0.086 | 0.000 | 13.991 | 3.784 | 0.000 | 0.000 | 22.342 |
| 2022 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 1.430 | 2.813 | 0.000 | 0.000 | 4.329 |
| 2023 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 1.551 | 2.945 | 0.000 | 0.000 | 4.583 |
| 2024 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 1.770 | 3.084 | 0.000 | 0.000 | 4.941 |
| 2025 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 2.179 | 3.199 | 0.000 | 0.000 | 5.465 |
| 2026 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 2.587 | 3.318 | 0.000 | 0.000 | 5.992 |
| 2027 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 2.862 | 3.441 | 0.000 | 0.000 | 6.390 |
| 2028 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 3.116 | 3.569 | 0.000 | 0.000 | 6.771 |
| 2029 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 3.326 | 3.700 | 0.000 | 0.000 | 7.112 |
| 2030 | 6.162 | -0.086 | 0.000 | 3.395 | 3.835 | 0.000 | 0.000 | 1.154 |
| 2031 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 9.661 | 4.036 | 0.000 | 0.000 | 13.784 |
| 2032 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 13.377 | 4.278 | 0.000 | 0.000 | 17.742 |
| 2033 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 20.071 | 5.002 | 0.000 | 0.000 | 25.160 |
| 2034 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 30.237 | 7.492 | 0.000 | 0.000 | 37.815 |
| 2035 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 38.193 | 10.356 | 0.000 | 0.000 | 48.635 |
| 2036 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 41.458 | 11.719 | 0.000 | 0.000 | 53.263 |
|  | **63.699** | **-0.878** | **0.000** | **196.356** | **81.682** | **0.000** | **0.000** | **215.217** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **TIR =** | **16.9%** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **VAN =** | **$18.920** |

Cuadro 32: Análisis de Sensibilidad – Escenario d)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Increase in Road Agency Costs** | | | **Decrease in Road User Costs** | | | **Net Exogenous Benefits** | **Total Net Benefits** |
| **Capital Works** | **Recurrent Works** | **Special Works** | **MT VOC** | **MT Time** | **Accident** |
| **Cost** |
| **Reduction** |
| 2017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2018 | 17.055 | 0.419 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -17.474 |
| 2019 | 17.313 | 0.000 | 0.000 | 2.217 | 2.332 | 0.000 | 0.000 | -12.764 |
| 2020 | 17.313 | 0.000 | 0.000 | 4.576 | 2.522 | 0.000 | 0.000 | -10.214 |
| 2021 | -3.734 | -0.072 | 0.000 | 13.292 | 3.595 | 0.000 | 0.000 | 20.692 |
| 2022 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 1.359 | 2.672 | 0.000 | 0.000 | 4.103 |
| 2023 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 1.473 | 2.798 | 0.000 | 0.000 | 4.343 |
| 2024 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 1.682 | 2.930 | 0.000 | 0.000 | 4.684 |
| 2025 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 2.070 | 3.039 | 0.000 | 0.000 | 5.181 |
| 2026 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 2.458 | 3.152 | 0.000 | 0.000 | 5.682 |
| 2027 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 2.719 | 3.269 | 0.000 | 0.000 | 6.060 |
| 2028 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 2.960 | 3.390 | 0.000 | 0.000 | 6.422 |
| 2029 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 3.159 | 3.515 | 0.000 | 0.000 | 6.747 |
| 2030 | 5.135 | -0.072 | 0.000 | 3.225 | 3.643 | 0.000 | 0.000 | 1.805 |
| 2031 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 9.178 | 3.834 | 0.000 | 0.000 | 13.084 |
| 2032 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 12.708 | 4.064 | 0.000 | 0.000 | 16.844 |
| 2033 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 19.068 | 4.752 | 0.000 | 0.000 | 23.892 |
| 2034 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 28.725 | 7.117 | 0.000 | 0.000 | 35.914 |
| 2035 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 36.284 | 9.838 | 0.000 | 0.000 | 46.194 |
| 2036 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 39.385 | 11.133 | 0.000 | 0.000 | 50.590 |
|  | **53.082** | **-0.732** | **0.000** | **186.538** | **77.598** | **0.000** | **0.000** | **211.785** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **TIR =** | **19.2%** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **VAN =** | **$23.598** |

Cuadro 33: Análisis de Sensibilidad – Escenario e)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Increase in Road Agency Costs** | | | **Decrease in Road User Costs** | | | **Net Exogenous Benefits** | **Total Net Benefits** |
| **Capital Works** | **Recurrent Works** | **Special Works** | **MT VOC** | **MT Time** | **Accident** |
| **Cost** |
| **Reduction** |
| 2017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2018 | 17.055 | 0.419 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -17.474 |
| 2019 | 17.313 | 0.000 | 0.000 | 2.100 | 2.209 | 0.000 | 0.000 | -13.004 |
| 2020 | 17.313 | 0.000 | 0.000 | 4.336 | 2.390 | 0.000 | 0.000 | -10.588 |
| 2021 | -3.734 | -0.072 | 0.000 | 12.592 | 3.406 | 0.000 | 0.000 | 19.804 |
| 2022 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 1.287 | 2.532 | 0.000 | 0.000 | 3.891 |
| 2023 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 1.396 | 2.651 | 0.000 | 0.000 | 4.119 |
| 2024 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 1.593 | 2.776 | 0.000 | 0.000 | 4.441 |
| 2025 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 1.961 | 2.879 | 0.000 | 0.000 | 4.913 |
| 2026 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 2.329 | 2.986 | 0.000 | 0.000 | 5.387 |
| 2027 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 2.576 | 3.097 | 0.000 | 0.000 | 5.745 |
| 2028 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 2.804 | 3.212 | 0.000 | 0.000 | 6.088 |
| 2029 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 2.993 | 3.330 | 0.000 | 0.000 | 6.395 |
| 2030 | 5.135 | -0.072 | 0.000 | 3.056 | 3.451 | 0.000 | 0.000 | 1.443 |
| 2031 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 8.695 | 3.632 | 0.000 | 0.000 | 12.399 |
| 2032 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 12.039 | 3.850 | 0.000 | 0.000 | 15.962 |
| 2033 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 18.064 | 4.502 | 0.000 | 0.000 | 22.638 |
| 2034 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 27.213 | 6.742 | 0.000 | 0.000 | 34.027 |
| 2035 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 34.374 | 9.320 | 0.000 | 0.000 | 43.766 |
| 2036 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 37.312 | 10.547 | 0.000 | 0.000 | 47.931 |
|  | **53.082** | **-0.732** | **0.000** | **176.720** | **73.514** | **0.000** | **0.000** | **197.884** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **TIR =** | **18.2%** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **VAN =** | **$20.242** |

Cuadro 34: Análisis de Sensibilidad – Escenario f)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Increase in Road Agency Costs** | | | **Decrease in Road User Costs** | | | **Net Exogenous Benefits** | **Total Net Benefits** |
| **Capital Works** | **Recurrent Works** | **Special Works** | **MT VOC** | **MT Time** | **Accident** |
| **Cost** |
| **Reduction** |
| 2017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2018 | 17.055 | 0.419 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -17.474 |
| 2019 | 17.313 | 0.000 | 0.000 | 1.867 | 1.964 | 0.000 | 0.000 | -13.483 |
| 2020 | 17.313 | 0.000 | 0.000 | 3.854 | 2.124 | 0.000 | 0.000 | -11.335 |
| 2021 | -3.734 | -0.072 | 0.000 | 11.193 | 3.028 | 0.000 | 0.000 | 18.026 |
| 2022 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 1.144 | 2.250 | 0.000 | 0.000 | 3.466 |
| 2023 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 1.241 | 2.356 | 0.000 | 0.000 | 3.669 |
| 2024 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 1.416 | 2.467 | 0.000 | 0.000 | 3.955 |
| 2025 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 1.744 | 2.559 | 0.000 | 0.000 | 4.375 |
| 2026 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 2.070 | 2.654 | 0.000 | 0.000 | 4.796 |
| 2027 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 2.290 | 2.753 | 0.000 | 0.000 | 5.115 |
| 2028 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 2.493 | 2.855 | 0.000 | 0.000 | 5.419 |
| 2029 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 2.660 | 2.960 | 0.000 | 0.000 | 5.693 |
| 2030 | 5.135 | -0.072 | 0.000 | 2.716 | 3.068 | 0.000 | 0.000 | 0.720 |
| 2031 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 7.729 | 3.229 | 0.000 | 0.000 | 11.030 |
| 2032 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 10.702 | 3.423 | 0.000 | 0.000 | 14.196 |
| 2033 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 16.057 | 4.002 | 0.000 | 0.000 | 20.131 |
| 2034 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 24.189 | 5.993 | 0.000 | 0.000 | 30.254 |
| 2035 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 30.555 | 8.285 | 0.000 | 0.000 | 38.911 |
| 2036 | 0.000 | -0.072 | 0.000 | 33.166 | 9.375 | 0.000 | 0.000 | 42.613 |
|  | **53.082** | **-0.732** | **0.000** | **157.085** | **65.345** | **0.000** | **0.000** | **170.080** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **TIR =** | **16.2%** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **VAN =** | **$13.529** |

Cuadro 35: Análisis de Sensibilidad – Escenario g)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Increase in Road Agency Costs** | | | **Decrease in Road User Costs** | | | **Net Exogenous Benefits** | **Total Net Benefits** |
| **Capital Works** | **Recurrent Works** | **Special Works** | **MT VOC** | **MT Time** | **Accident** |
| **Cost** |
| **Reduction** |
| 2017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2018 | 17.907 | 0.440 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -18.347 |
| 2019 | 18.179 | 0.000 | 0.000 | 2.217 | 2.332 | 0.000 | 0.000 | -13.630 |
| 2020 | 18.179 | 0.000 | 0.000 | 4.576 | 2.522 | 0.000 | 0.000 | -11.080 |
| 2021 | -3.920 | -0.076 | 0.000 | 13.292 | 3.595 | 0.000 | 0.000 | 20.883 |
| 2022 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 1.359 | 2.672 | 0.000 | 0.000 | 4.106 |
| 2023 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 1.473 | 2.798 | 0.000 | 0.000 | 4.347 |
| 2024 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 1.682 | 2.930 | 0.000 | 0.000 | 4.687 |
| 2025 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 2.070 | 3.039 | 0.000 | 0.000 | 5.185 |
| 2026 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 2.458 | 3.152 | 0.000 | 0.000 | 5.686 |
| 2027 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 2.719 | 3.269 | 0.000 | 0.000 | 6.064 |
| 2028 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 2.960 | 3.390 | 0.000 | 0.000 | 6.426 |
| 2029 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 3.159 | 3.515 | 0.000 | 0.000 | 6.750 |
| 2030 | 5.392 | -0.076 | 0.000 | 3.225 | 3.643 | 0.000 | 0.000 | 1.552 |
| 2031 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 9.178 | 3.834 | 0.000 | 0.000 | 13.088 |
| 2032 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 12.708 | 4.064 | 0.000 | 0.000 | 16.848 |
| 2033 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 19.068 | 4.752 | 0.000 | 0.000 | 23.896 |
| 2034 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 28.725 | 7.117 | 0.000 | 0.000 | 35.917 |
| 2035 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 36.284 | 9.838 | 0.000 | 0.000 | 46.197 |
| 2036 | 0.000 | -0.076 | 0.000 | 39.385 | 11.133 | 0.000 | 0.000 | 50.593 |
|  | **55.736** | **-0.768** | **0.000** | **186.538** | **77.598** | **0.000** | **0.000** | **209.168** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **TIR =** | **18.3%** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **VAN =** | **$21.589** |

Cuadro 36: Análisis de Sensibilidad – Escenario h)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Increase in Road Agency Costs** | | | **Decrease in Road User Costs** | | | **Net Exogenous Benefits** | **Total Net Benefits** |
| **Capital Works** | **Recurrent Works** | **Special Works** | **MT VOC** | **MT Time** | **Accident** |
| **Cost** |
| **Reduction** |
| 2017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2018 | 18.760 | 0.461 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -19.221 |
| 2019 | 19.044 | 0.000 | 0.000 | 2.100 | 2.209 | 0.000 | 0.000 | -14.735 |
| 2020 | 19.044 | 0.000 | 0.000 | 4.336 | 2.390 | 0.000 | 0.000 | -12.319 |
| 2021 | -4.107 | -0.079 | 0.000 | 12.592 | 3.406 | 0.000 | 0.000 | 20.184 |
| 2022 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 1.287 | 2.532 | 0.000 | 0.000 | 3.898 |
| 2023 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 1.396 | 2.651 | 0.000 | 0.000 | 4.126 |
| 2024 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 1.593 | 2.776 | 0.000 | 0.000 | 4.448 |
| 2025 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 1.961 | 2.879 | 0.000 | 0.000 | 4.920 |
| 2026 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 2.329 | 2.986 | 0.000 | 0.000 | 5.394 |
| 2027 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 2.576 | 3.097 | 0.000 | 0.000 | 5.752 |
| 2028 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 2.804 | 3.212 | 0.000 | 0.000 | 6.095 |
| 2029 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 2.993 | 3.330 | 0.000 | 0.000 | 6.403 |
| 2030 | 5.649 | -0.079 | 0.000 | 3.056 | 3.451 | 0.000 | 0.000 | 0.937 |
| 2031 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 8.695 | 3.632 | 0.000 | 0.000 | 12.407 |
| 2032 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 12.039 | 3.850 | 0.000 | 0.000 | 15.969 |
| 2033 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 18.064 | 4.502 | 0.000 | 0.000 | 22.646 |
| 2034 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 27.213 | 6.742 | 0.000 | 0.000 | 34.035 |
| 2035 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 34.374 | 9.320 | 0.000 | 0.000 | 43.773 |
| 2036 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 37.312 | 10.547 | 0.000 | 0.000 | 47.938 |
|  | **58.390** | **-0.805** | **0.000** | **176.720** | **73.514** | **0.000** | **0.000** | **192.649** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **TIR =** | **16.6%** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **VAN =** | **$16.224** |

Cuadro 37: Análisis de Sensibilidad – Escenario i)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Increase in Road Agency Costs** | | | **Decrease in Road User Costs** | | | **Net Exogenous Benefits** | **Total Net Benefits** |
| **Capital Works** | **Recurrent Works** | **Special Works** | **MT VOC** | **MT Time** | **Accident** |
| **Cost** |
| **Reduction** |
| 2017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2018 | 20.465 | 0.503 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -20.968 |
| 2019 | 20.776 | 0.000 | 0.000 | 1.867 | 1.964 | 0.000 | 0.000 | -16.945 |
| 2020 | 20.776 | 0.000 | 0.000 | 3.854 | 2.124 | 0.000 | 0.000 | -14.798 |
| 2021 | -4.480 | -0.086 | 0.000 | 11.193 | 3.028 | 0.000 | 0.000 | 18.787 |
| 2022 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 1.144 | 2.250 | 0.000 | 0.000 | 3.481 |
| 2023 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 1.241 | 2.356 | 0.000 | 0.000 | 3.683 |
| 2024 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 1.416 | 2.467 | 0.000 | 0.000 | 3.970 |
| 2025 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 1.744 | 2.559 | 0.000 | 0.000 | 4.389 |
| 2026 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 2.070 | 2.654 | 0.000 | 0.000 | 4.811 |
| 2027 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 2.290 | 2.753 | 0.000 | 0.000 | 5.129 |
| 2028 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 2.493 | 2.855 | 0.000 | 0.000 | 5.434 |
| 2029 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 2.660 | 2.960 | 0.000 | 0.000 | 5.707 |
| 2030 | 6.162 | -0.086 | 0.000 | 2.716 | 3.068 | 0.000 | 0.000 | -0.292 |
| 2031 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 7.729 | 3.229 | 0.000 | 0.000 | 11.044 |
| 2032 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 10.702 | 3.423 | 0.000 | 0.000 | 14.211 |
| 2033 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 16.057 | 4.002 | 0.000 | 0.000 | 20.145 |
| 2034 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 24.189 | 5.993 | 0.000 | 0.000 | 30.269 |
| 2035 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 30.555 | 8.285 | 0.000 | 0.000 | 38.926 |
| 2036 | 0.000 | -0.086 | 0.000 | 33.166 | 9.375 | 0.000 | 0.000 | 42.628 |
|  | **63.699** | **-0.878** | **0.000** | **157.085** | **65.345** | **0.000** | **0.000** | **159.610** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **TIR =** | **13.5%** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **VAN =** | **$5.494** |

Para terminar, a modo de resumen, se presentan los indicadores económicos en el Cuadro 38.

Cuadro 38: Resultados del Análisis de Sensibilidad

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Escenario** | **VAN (Actualizado)**  **(US$ Mill.)** | **TIR (%)** |
| a) | 24.95 | 19.2% |
| b) | 22.94 | 18.4% |
| c) | 18.92 | 16.9% |
| d) | 23.60 | 19.2% |
| e) | 20.24 | 18.2% |
| f) | 13.53 | 16.2% |
| g) | 21.59 | 18.3% |
| h) | 16.22 | 16.6% |
| i) | 5.49 | 13.5% |

# Valores de Frontera

Para comprobar la robustez de los indicadores de rentabilidad y darle mayor profundidad la verificación de la rentabilidad económica, se ha realizado un análisis de frontera de las variaciones de los costos y beneficios de la alternativa de cada uno de los tramos que ha reportado la mayor Tasa Interna de Retorno Económico; a efecto encontrar las máximas variaciones que generarían que el Valor Actual Neto Económico de los beneficios fuera igual a cero.

# Frontera de Costos Viales

El análisis de frontera de los costos viales se presenta en el Cuadro 39; como puede notarse, el Valor Presente Neto de los beneficios se hace cero, cuando los costos viales se incrementan a un valor de casi 67%.

Cuadro 39: Análisis de Frontera de Costos Viales



# Frontera de Beneficios de COV

El análisis de frontera de los beneficios derivados de los ahorros en costos de operación vehicular (COV) se presentan en el Cuadro 40; como puede notarse, el Valor Presente Neto Económico de los beneficios se hace cero, cuando los ahorros en COV se reducen a casi un 40%.

Cuadro 40: Análisis de Frontera de Beneficios COV



# Conclusiones

Del análisis de sensibilidad y valores de frontera, se deduce que la viabilidad económica es robusta y que el proyecto se mantiene con indicadores de rentabilidad adecuados aún en casos de variación extremos de costos y beneficios.

Por lo anterior, el proyecto a ser considerado para financiamiento por parte del Banco.

# Anexo 1: Visión General Modelo HDM-4

**INTRODUCCIÓN**

El HDM-4 (Highway Development and Management) es una aplicación informática que se ha desarrollado como parte de un esfuerzo del Banco Mundial, el Banco Asiático de Desarrollo, el Departamento de Desarrollo Internacional del Reino Unido, la Administración Nacional de Carreteras de Suecia y el TRRL (Transport and Road Research Laboratory) para ayudar a los países en vías de desarrollo a planear y mejorar las condiciones de la infraestructura carretera, Como antecedentes directos se puede encontrar al HDM-III (Highway Mantenance and Design) desarrollado por el MTT en colaboración con el Banco Mundial, y el RTTM 3 ( Road Transport Investment Model), desarrollado en base a investigaciones hechas en países en vías de desarrollo por el TRRL, Estos programas a su vez han sido mejoras a las primeras aplicaciones en cuestión de costos y mantenimiento de caminos y carreteras, desarrolladas a principios de los años sesenta en Estados Unidos y en Gran Bretaña, como lo fue el pionero HDM. Los anteriores programas servían como herramientas para predecir el comportamiento de los pavimentos en el futuro y el consecuente gasto necesario para su conservación. Por lo tanto se deduce que HDM-4 no es un modelo totalmente nuevo, sino que utiliza varias de las características de sus predecesores e incorpora una variedad más amplia de condiciones con nuevas aplicaciones de software mucho más potentes.

La utilización de HDM-4 se hace conveniente principalmente por las siguientes razones:

* La aparición de nuevas condiciones tanto en materia económica como técnica y la necesidad de incluir más factores que antes no se tomaban en cuenta (factores climáticos, medioambientales, seguridad vial, efectos de la congestión de tránsito, entre otros).
* La necesidad de jerarquizar las inversiones en proyectos carreteros, realizando una optimización de los recursos disponibles y previendo la influencia de condiciones futuras en su estado.
* Desarrollar una visión más amplia de la Gestión de Carreteras considerando funciones como: Planificación, Programación, Preparación y Operación.

**DESCRIPCIÓN DEL HDM-4**

El modelo HDM es un modelo de simulación del comportamiento del ciclo de vida de las carreteras considerando las relaciones entre ésta, el ambiente y el tránsito dentro de una economía nacional o regional que determina la composición y la estructura de costos de las variables. El modelo realiza un análisis detallado con base en los datos suministrados por el usuario.

No es una herramienta de optimización en el sentido de que no es capaz de encontrar la 'solución óptima absoluta' del problema sino que realiza los cálculos correspondientes a cada alternativa definida y suministra los indicadores económicos y de desempeño para que el usuario ordene las alternativas y posteriormente seleccione la que de acuerdo con su objetivo considere óptima.

Para cada alternativa el modelo puede calcular el costo total de transporte (Construcción, Mantenimiento, Costos de Operación, Tiempos de Viaje, entre otros). La alternativa que resulte tener el costo total de transporte menor es, en principio, la más conveniente a la sociedad.

El modelo fue concebido como una herramienta para el análisis de alternativas de mejoramiento vial. Por tanto, parte del supuesto de que existe una carretera, la cual ya ha sido sometida a un cierto nivel de inversión por parte de la agencia vial. El problema por lo tanto se reduce en comparar los incrementos en la inversión por parte de la agencia vial (∆CA), con los beneficios adicionales que dicho incremento conlleva (∆BA).

Sin hacer consideraciones todavía del valor en el tiempo (o sea durante el periodo de análisis) de estos diferenciales, se puede decir que para el momento en que ocurren, la diferencia [(∆CAi)-(∆BAi)] representa el beneficio neto de la alternativa i con respecto a la situación actual.

El usuario debe definir una alternativa base o ''sin proyecto'' (lo cual no significa que sea igual a "no hacer nada"), contra la cual se compararán las otras posibles alternativas de inversión. En este sentido el resultado de la comparación de cada alternativa indica el beneficio neto de implantar esa alternativa con respecto a continuar con la alternativa "base". Bajo estas condiciones, la alternativa “óptima”, (aquella que tiene el costo total menor de transporte) es la que produce el mayor beneficio entre todas las alternativas comparadas. El HDM 4, tiene tres modalidades principales: Análisis de estrategias, Análisis de Programa, y Análisis de Proyecto, cada una de las cuales pueden ser adaptadas para las diferentes funciones de la gestión de carreteras.

Una descripción general del HDM-4 se muestra en la figura 1 (ISOHDM Technical Secretarial V2, 2003)

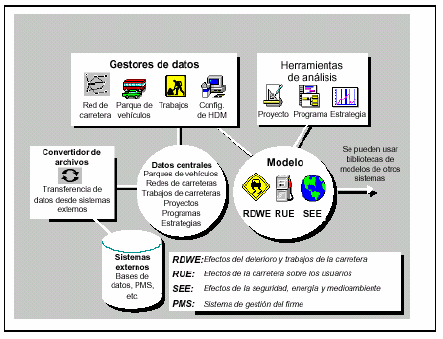


Figura 1 Estructura del HDM-4

**OBJETIVOS DEL DESARROLLO DEL HDM-4**

El modelo HDM-4 tiene pues por objetivos, el incorporar el conocimiento presente hasta su tiempo de todos los estudios hechos acerca de conservación de carreteras con los programas anteriores, incorporar nuevos conocimientos derivados de investigaciones alrededor del mundo e incorporar nuevas tecnologías computacionales.

Básicamente se pueden definir cuatro áreas de alcance del proyecto:

* **Presupuestación de los proyectos**: Obtención de presupuestos para la conservación, rehabilitación, mejora y nueva construcción, a través del análisis del ciclo de vida, de una propuesta de inversión en carreteras.
* **Programación de trabajos**: Preparación de programas de conservación y desarrollo de red de carreteras para varios años, que faciliten la preparación de presupuestos a mediano plazo.
* **Planeación estratégica**: Desarrollo de políticas, planes de distribución de recursos a largo plazo y planificación de redes de carreteras.
* **Software**: Un sistema fácil para el usuario, construido a partir de un conjunto de Módulos con la capacidad de cubrir un amplio espectro de datos y de niveles de destreza, (ISOHDM Technical Secretarial V1, 2003).

**MARCO ANALÍTICO DEL HDM-4**

El Marco Analítico del HDM-4 se basa en el ciclo de vida de la capa de rodadura o pavimento de la vía, y se aplica para la simulación de la evolución de:

* Deterioro del pavimento
* Efectos de las obras de reparación
* Efectos para los usuarios de la carretera
* Efectos socioeconómicos y medioambientales

Las carreteras se deterioran generalmente por factores tales como:

* Cargas del tránsito
* Factores medioambientales
* Efectos de sistemas de drenaje inadecuados

La tasa de deterioro del pavimento está directamente afectada por los estándares de conservación aplicados para reparar defectos en la superficie de rodamiento, como grietas, desprendimiento de agregados, baches, etc. o para conservar la integridad estructural del pavimento (tratamientos superficiales, refuerzos, etc.). Con esto se posibilita que la carretera soporte el tránsito para el que ha sido diseñada.

En la figura 2 (ISOHDM Technical Secretarial V2, 2003) se pueden ver las tendencias previstas en rendimiento de pavimentos representadas por el Índice internacional de irregularidad (IRI por sus siglas en inglés). El IRI representa la irregularidad promedio de la carretera producida ya sea por desprendimientos, roderas, baches, agrietamiento, etc.

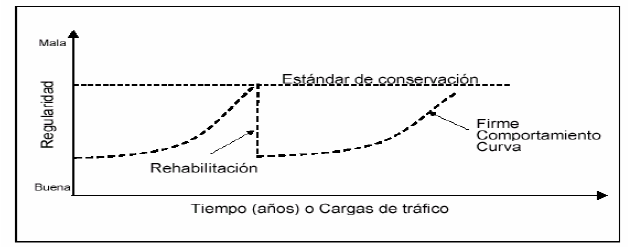


Figura 2 Concepto del Análisis del ciclo de Vida en el modelo HDM-4

HDM-4 predice las variaciones en la rugosidad en base a los datos de las características anteriores (o también el usuario). Como consecuencia, además de los costos de capital de la construcción de carreteras, los costos totales en que incurren los organismos implicados dependerán de los estándares de conservación aplicados a las redes de carreteras, (ISOHDM Technical Secretarial V2, 2003).

Los costos para el usuario se clasifican generalmente en los siguientes tres tipos: costos de operación del vehículo, costos del tiempo de viaje y costos por accidentes. En la Figura 3 (ISOHDM Technical Secretarial V2, 2003) se pueden observar claramente los efectos del estado de la carretera sobre los costos del usuario,

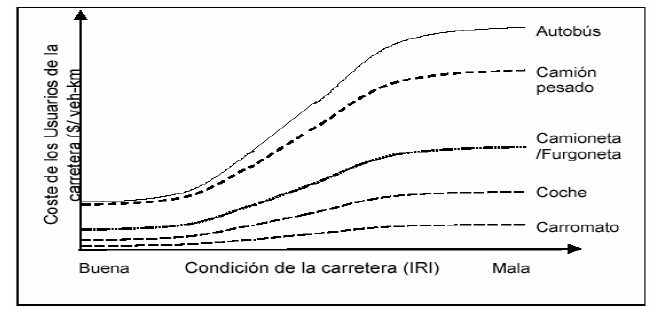


Figura 3 Efecto del estado de la carretera en los costos de operación del vehículo

El cálculo de los beneficios en el modelo HDM-4 se logra comparando los flujos de costos de las alternativas evaluadas contra los costos de una alternativa "base", que consiste en una propuesta de conservación con acciones mínimas.

El modelo HDM-4 está diseñado para hacer estimaciones de costos, comparativas y análisis económicos de diferentes opciones de inversión. Estima los costos de un gran número posible de alternativas año con año, para un periodo de análisis definido por el usuario. Todos los costos futuros se actualizan al año inicial del periodo de análisis, Para hacer las comparaciones se necesitan especificaciones detalladas de programas de inversión, estándares de diseño y alternativas de conservación, junto con costos unitarios, volúmenes de tránsito previstos y condiciones medioambientales (ISOHDM Technical Secretarial V2, 2003).

**FUNCIONAMIENTO DEL HDM-4**

El proceso de análisis con HDM-4 es básicamente similar al inicio, para los tres módulos de análisis (Proyecto, Programa o Estrategia). Se debe dividir la red carretera o la carretera por analizar en tramos y sub-tramos, que reunirán diferentes condiciones. Las divisiones se realizan por el analista, de acuerdo a su criterio. El ingreso de la información está ordenado en las siguientes fases:

* **Características de la Vía**: Se ingresa datos que definen sus características físicas tales como IRI, condiciones de clima, características geométricas, especificaciones estructurales, tipo de carpeta etc. El proyecto contiene diferentes opciones de clima, de trazo, vida del pavimento. Además, el usuario puede ingresar una base de datos a efecto de particularizar estas características.
* **Condiciones de tránsito**: Trata de las condiciones específicas del tránsito vehicular tales como promedio de vehículos por día, factores de daño, tipos de vehículos, tasa de crecimiento, costos unitarios de insumos, etc. El proyecto contiene valores prestablecidos, los cuales pueden ser modificados por el usuario para adecuarlos a las condiciones imperantes en la zona de análisis.
* **Estándares de Intervención**: Lo siguiente es formular los estándares de intervención (Conservación, Construcción o Mejora), que se van a desarrollar. Cada estándar está compuesto por diferentes tareas, como pueden ser: Riego de sello, sobre carpetas, estabilización de base, etc. Los estándares pueden tener las combinaciones necesarias de tareas que el usuario considere, pero las diferentes tareas corresponden a información que el proyecto tiene ya predeterminada, considerando las acciones más comunes. La variación entonces entre cada estándar consiste en el orden de las tareas o en las diferentes combinaciones que se pueden dar así como los criterios de ejecución de las mismas. Aquí también se incluyen los costos unitarios de cada una de esas tareas.

Cada grupo de estándares aplicado a los sub-tramos correspondientes, conforman una alternativa. Se pueden generar las alternativas necesarias, dependiendo de los requerimientos del usuario, por ejemplo: evaluar el comportamiento de dos tramos de carretera con las mismas condiciones de tránsito y estructurales, pero con diferente capa de rodadura (mezcla asfáltica o concreto hidráulico por ejemplo).

Luego, se procede a la elección del módulo HDM-4 a usar: Análisis de estrategias, Análisis de programa o Análisis de proyecto. Es en esta fase cuando se elige la alternativa base y los diferentes tramos a evaluar.

Los resultados del análisis generan una serie de gráficas y tablas de tres tipos principalmente:

* Indicadores de eficiencia económica: Para el análisis de proyectos de conservación individuales.
* Programas de trabajo para varios años: Producidos después de la selección de varios posibles proyectos de carreteras.
* Conservación estratégica y planes de desarrollo vial: Producidos a partir de datos a largo plazo para el mantenimiento de redes carreteras (ISOHDM Technical Secretarial VI, 2005).

Estos resultados incluyen costos financieros y económicos; y se presentan durante el ciclo de vida del proyecto, esto es contabilizando su evolución año con año.

De la comparación de los costos económicos totales de cada alternativa analizada, con respecto a los correspondientes a la alternativa definido como base, se establecen los flujos anuales de beneficios a partir de los cuales se obtienen los indicadores de rentabilidad (TIRE, VANE, B/C)

Como parte de la metodología de análisis, se prosigue con la comparación de resultados por el analista y a la elección de la alternativa más adecuada a ser considerada, respaldada por el análisis económico. Con lo cual se cierra el proceso analítico usando el HDM-4.

1. La rehabilitación de una vía consiste en la ejecución de las obras necesarias para restaurar sus condiciones funcionales originales y realizar las adecuaciones necesarias para que las condiciones (generalmente estructurales) de la misma estén acordes a la demanda proyectada; incluye demarcación horizontal y vertical, adecuación de pasos peatonales, y mejoras puntuales de geometría, entre otros elementos de seguridad vial [↑](#footnote-ref-1)