Documento del Banco Interamericano De Desarrollo

**El Salvador**

**Programa de Mejoramiento del Corredor Pacífico Mesoamérica**

**(ES-L1085)**

**Análisis de Costos y Viabilidad Económica**

|  |
| --- |
| Este documento fue preparado por el equipo de proyecto integrado por: Miroslava Nevo (INE/TSP), Jefe de Equipo; Carlos Morán (TSP/CES), Jefe de Equipo Alterno; Alejandro Taddia, Isabel Granada y Caterina Vecco (INE/TSP); Ana Elsy Cabrera (CID/CES); Shakirah Cossens (SPD/SDV); Juan Carlos Páez y Elsa Chang (VPS/ESG); Marco Alemán y Mario Castañeda (FMP/CES); Louis François Chrétien (LEG/SGO); Mauricio Bayona y Roque Rodas (Consultores) |

|  |
| --- |
| El presente documento contiene información confidencial comprendida en una o más de las diez excepciones de la Política de Acceso a Información y, por lo tanto, no se puede divulgar fuera del Banco. Está disponible únicamente para un grupo restringido de personas dentro del Banco. |

**SIGLAS Y ABREVIATURAS**

|  |  |
| --- | --- |
| BID | Banco Interamericano de Desarrollo |
| COV | Costos de Operación Vehicular |
| FOVIAL | Fondo de Conservación Vial |
| HDM-4 | Highway Development and Management Model |
| MOPTVDU | Ministerio de Obras Públicas, Vivienda y Desarrollo Urbano |
| IRI | Índice Internacional de Rugosidad |
| TIRE | Tasa Interna de Retorno Económico |
| VANE | Valor Actual Neto Económico |

Contenido

[1 Introducción 5](#_Toc368027774)

[1.1 Tipo de análisis realizado 5](#_Toc368027775)

[1.2 Descripción de Beneficios 6](#_Toc368027776)

[1.2.1 Ahorros en Costos de Operación Vehicular (COV) 6](#_Toc368027777)

[1.2.2 Ahorros en Costos de Mantenimiento Vial 7](#_Toc368027778)

[1.2.3 Ahorro de tiempo 7](#_Toc368027779)

[1.2.4 Reducción de costos de accidentes 7](#_Toc368027780)

[1.2.5 Beneficio de desarrollo económico 7](#_Toc368027781)

[1.3 Parámetros utilizados para la evaluación socioeconómica 8](#_Toc368027782)

[1.3.1 Tasa Social de Descuento 8](#_Toc368027783)

[1.3.2 Factor de Precio Sombra 8](#_Toc368027784)

[1.4 Modelo de Evaluación 8](#_Toc368027785)

[2 Rehabilitación Carretera CA01E, Tramo: Sirama – Desvío a Santa Rosa de Lima. 11](#_Toc368027786)

[2.1 Ubicación 11](#_Toc368027787)

[2.2 Beneficiarios 12](#_Toc368027788)

[2.3 Supuestos y metodología de evaluación 12](#_Toc368027789)

[2.3.1 Definición de Alternativas 12](#_Toc368027790)

[2.3.2 Tránsito y sus proyecciones 13](#_Toc368027791)

[2.4 Costos y Beneficios económicos 20](#_Toc368027792)

[2.4.1 Costo de las alternativas 21](#_Toc368027793)

[2.4.2 Beneficios 22](#_Toc368027794)

[2.5 Rentabilidad económica 24](#_Toc368027795)

[2.6 Análisis de sensibilidad 24](#_Toc368027796)

[2.7 Valores de Frontera 25](#_Toc368027797)

[2.7.1 Frontera de Costos Viales 25](#_Toc368027798)

[2.7.2 Frontera de Beneficios de COV 26](#_Toc368027799)

[2.8 Conclusiones 26](#_Toc368027800)

[Anexo 1: Visión General Modelo HDM-4 27](#_Toc368027801)

[Introducción 27](#_Toc368027802)

[Descripción del HDM-4 27](#_Toc368027803)

[Objetivos del desarrollo del HDM-4 29](#_Toc368027804)

[Marco analítico del HDM-4 29](#_Toc368027805)

[Funcionamiento del HDM-4 31](#_Toc368027806)

# Introducción

En los siguientes apartados se hace una valoración de la viabilidad económica del proyecto de la muestra presentado para la operación ES-L1085 “Programa de Mejoramiento del Corredor Pacífico Mesoamericano”.

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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PROYECTOS | Longitud (km) | Monto(1)  (US$ Miles) |
| **Componente 1: Obras del Corredor Pacífico Mesoamérica** | | |
| Rehabilitación Carretera CA1E, Tramo: Sirama – Desvío a Santa Rosa de Lima, Municipios de La Unión, San Alejo y Pasaquina, Departamento de La Unión.  (Rehabilitación de superficie de rodamiento de dos carriles con sus hombros, ampliación de puentes, construcción de drenajes laterales y transversales y la construcción de bahías para parada de buses.) | 27,10 | 25.654,8 |

(1) El monto incluye el diseño final, la supervisión, la construcción y la adquisición eventual de derechos de vía.

El Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano (MOPTVDU), entidad ejecutora del programa 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 el análisis de costos y 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.

## Tipo de análisis realizado

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 las 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 a 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 de tiempos, reducción de accidentes, beneficios de desarrollo económico.

### 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 adecuada geometría, así como una superficie más uniforme de la carretera, permitirá mayores velocidades y ahorros de tiempo de viaje. Esta variable es muy significativa cuando el propósito del viaje es por razones productivas o de comercio.

### Reducción de costos de accidentes

Una carretera que incorpore los elementos necesarios para el control y canalización del tránsito, puede reducir los accidentes y por ende los costos económicos y sociales derivados de los mismos.

Cuando una carretera es rehabilitada, seguramente se induce el aumento de las velocidades de operación de los vehículos, cuyo riesgo de ocurrencia de accidentes es mitigado con las debidas previsiones en el diseño geométrico de los elementos de la vía, así como la dotación de dispositivos para el control, señalización y canalización segura del tránsito.

### Beneficio de desarrollo económico

La economía del área de influencia de la carretera puede beneficiarse con su mejoramiento. La magnitud de dicho beneficio dependerá del potencial de desarrollo económico de la zona de influencia del camino; el cual puede estar reprimido debido a que la condición de la vía hace difícil el acceso a los insumos (primarios, tecnológicos, financieros) de producción; así como como el egreso de los productos a las zonas de comercialización.

## 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.

### 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, tanto para la construcción, como para el mantenimiento y los costos de operación vehicular; y en forma general 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. Para cada elemento, se obtiene el factor estándar de conversión (FSC).

En el documento de factibilidad presentado por el MOPTVDU, ha sido aplicado de manera generalizada 0,82 como factor para transformar precios financieros a económicos; valor que a criterio de consultor se considera alto. Dado que no se ha podido establecer el detalle de cálculo del valor utilizado; para la presente evaluación se ha optado por aplicar factores de conversión particular a los componentes de costos que se detallan a continuación:

## Modelo de Evaluación

Para la evaluación del proyecto, se utilizó el Modelo HDM-4 (Una visión general del modelo se presenta en el Anexo 1), con el cual se establecieron los beneficios que se esperan alcanzar con la aplicación de la solución vial proyectada, frente a las condiciones de circulación sobre las vías en el estado actual.

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 las evaluaciones de los proyectos, se presentan en el Cuadro 2 y Cuadro 3.

Cuadro 2: Datos de Utilización y características Físicas de la Flota Vehicular

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tipo de Vehículo** | **PCSE** | **No. de ruedas** | **No. de ejes** | **Tipo de neumático** | **No. de renov.** | **Costo renov.  (%)** | **Km. Recorridos anuales** | **Hrs. Laborables anuales** | **Vida prom. (años)** | **Uso privado (%)** | **No. de Pasajeros** | **Viajes de trabajo (%)** | **ESALF** | **Peso en operación (ton)** |
| Microbus | 1,40 | 4,00 | 2,00 | Bias ply | 1,30 | 15,00 | 30.000,00 | 1.825,00 | 10,00 | 0,00 | 20,00 | ros | 0,04 | 2,50 |
| T3S3 | 1,80 | 22,00 | 6,00 | Bias ply | 1,30 | 15,00 | 80.000,00 | 1.825,00 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,48 | 31,08 |
| T3S2 | 1,80 | 18,00 | 5,00 | Bias ply | 1,30 | 15,00 | 80.000,00 | 1.825,00 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,67 | 28,00 |
| C3 | 1,60 | 10,00 | 3,00 | Bias ply | 1,30 | 15,00 | 60.000,00 | 1.460,00 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,76 | 20,80 |
| C2 | 1,40 | 6,00 | 2,00 | Bias ply | 1,30 | 15,00 | 64.000,00 | 1.300,00 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,04 | 12,20 |
| Bus | 1,50 | 6,00 | 2,00 | Bias ply | 1,30 | 15,00 | 70.000,00 | 1.825,00 | 10,00 | 0,00 | 40,00 | 75,00 | 0,80 | 10,90 |
| PickUp | 1,00 | 4,00 | 2,00 | Radial | 1,30 | 15,00 | 25.000,00 | 1.095,00 | 10,00 | 100,00 | 1,61 | 75,00 | 0,00 | 1,78 |
| Auto | 1,00 | 4,00 | 2,00 | Radial | 1,30 | 15,00 | 20.000,00 | 730,00 | 10,00 | 100,00 | 1,22 | 75,00 | 0,00 | 1,13 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3: Valores económicos de los Insumos de la Flota Vehicular

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tipo de Vehículo** | **Valor de Vehículo nuevo** | **Valor Neumático de refacción** | **Combustible (por litro)** | **Lubricante  (por litro)** | **M.O. de Mantenimiento (por hora)** | **Salarios Operación (por hora)** | **Costos generales anuales** | **Intereses anuales  (%)** | **Pasajero trabajo (por hora)** | **Pasajero ocio  (por hora)** |
| Microbus | $40.600,50 | $192,03 | $0,51 | $3,78 | $2,43 | $1,56 | $403,19 | 7,00 | $1,08 | $0,27 |
| T3S3 | $119.388,80 | $193,00 | $0,92 | $3,77 | $3,29 | $3,67 | $5.910,00 | 7,00 | $1,00 | $1,00 |
| T3S2 | $114.665,37 | $193,00 | $0,92 | $3,77 | $3,29 | $3,67 | $5.910,00 | 7,00 | $1,00 | $1,00 |
| C3 | $64.515,14 | $303,00 | $0,92 | $3,77 | $3,25 | $3,56 | $4.401,00 | 7,00 | $1,00 | $1,00 |
| C2 | $24.894,38 | $92,00 | $0,92 | $3,77 | $3,25 | $2,96 | $3.115,00 | 7,00 | $1,00 | $1,00 |
| Bus | $131.728,08 | $304,00 | $0,92 | $3,77 | $2,89 | $3,23 | $7.576,00 | 7,00 | $1,73 | $0,58 |
| PickUp | $22.743,52 | $90,00 | $1,06 | $3,77 | $2,62 | $0,00 | $2.610,32 | 7,00 | $5,12 | $1,71 |
| Auto | $14.520,56 | $53,00 | $1,06 | $3,77 | $2,62 | $0,00 | $1.664,25 | 7,00 | $5,12 | $2,56 |

Fuente: Elaboración propia.

# Rehabilitación Carretera CA01E, Tramo: Sirama – Desvío a Santa Rosa de Lima.

## Ubicación

El tramo de carretera en análisis se encuentra ubicado en la zona oriental del país, en el Departamento de La Unión, su traza sigue una orientación de Sur a Norte.

El tramo de carretera tiene una longitud Aproximada de 27,1 km, el cual inicia en la intersección con la Carretera Panamericana (CA-1), en el sitio conocido como desvío de Sirama, ubicado en el cantón del mismo nombre, tomando luego rumbo noreste, hasta finalizar en la intersección que hace con el desvío a Santa Rosa de Lima, sobre el km 203 de la CA01E. (Ver Ilustración 1).

Ilustración 1: Mapa de Ubicación del proyecto



El tramo vial forma parte del Corredor Pacífico Mesoamérica, y el MOPTVDU ha concebido su rehabilitación a efecto de adecuar sus condiciones físicas y funcionales a la demanda futura ocasionada por el crecimiento del tránsito normal y al proyectado por la puesta en operación del Puerto de contenedores de La Unión que en la actualidad prácticamente no se encuentra operando y que en la actualidad se están realizando las actividades orientadas a concesionarlo.

Siendo que el corredor actual tiene una importante función dentro del corredor logístico de carga local y regional, se prevé que la rehabilitación de la vía impactaría positivamente en el transporte de carga internacional y consecuentemente en la competitividad de la actividad productiva.

## Beneficiarios

Debido a la función regional que desempeñará el tramo una vez rehabilitado, además de los usuarios de los vehículos de carga internacional que utilizan la vía; se estima que la población beneficiada directamente con el proyecto serán los habitantes de los municipios Conchagua, La Unión, San Alejo y Pasaquina; la cual asciende a 115,188 habitantes, de los cuales 54,386 (47%) son hombres y 60,802 (53%) mujeres. (Ver detalles en el Cuadro 4).

Cuadro 4: Beneficiarios en el área de influencia del proyecto

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Municipios** | **Total 2012** | **Hombres** | **Mujeres** |
| Conchagua | 42,955 | 20,665 | 22,290 |
| La Unión | 36,509 | 17,251 | 19,258 |
| San Alejo | 18,364 | 8,425 | 9,939 |
| Pasaquina | 17,360 | 8,045 | 9,315 |
| Total | 115,188 | 54,386 | 60,802 |

## Supuestos y metodología de evaluación

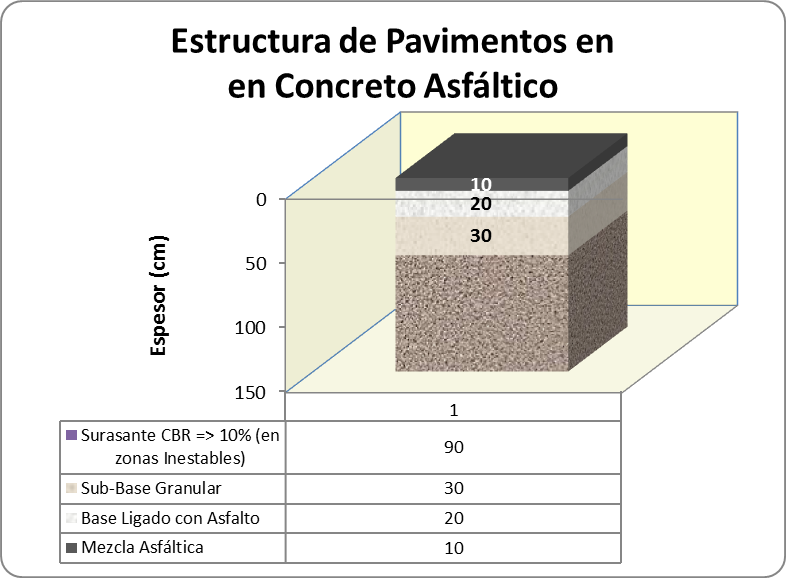
El análisis se basa en el supuesto de que con la rehabilitación del tramo vial propuesto, se alentaría a los usuarios (principalmente transporte de carga regional) a desviarse por la nueva ruta, dejando de utilizar el trayecto actual del Corredor Pacífico Mesoamericano.

La metodología de registro de información, análisis de datos y extrapolación de los datos de muestras recabados en el campo, ha sido incorporada por el MOPTVDU en el apartado del estudio de tránsito del documento de factibilidad presentado al Banco.

### Definición de Alternativas

El proyecto 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, en consecuencia la alternativa con proyecto se presentan a continuación:

#### Pavimento de concreto Asfáltico

La opción de pavimento está compuesto por una capa de concreto asfáltico de 10 cm de espesor, construida sobre una base ligada con asfalto de 20 cm, la que a su vez se apoya en una capa de sub-base granular de igual 30 cm. El paquete estructural se apoya en capa de material de subrasante cuyo espesor en las zonas con baja capacidad de carga será estabilizada en 90 cm. Esta estructura aporta un número estructural de 4.65.

La estructura de pavimento arriba descrita ha sido comparada con la alternativa Sin Proyecto, que consiste en la realización del mantenimiento rutinario que habitualmente se efectúa sobre el tramo.

### Tránsito y sus proyecciones

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

**Tránsito normal (TN)**: Es aquel que circula por la carretera independientemente de que se materialice la intervención proyectada.

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

**Transito inducido (TI)**: Es aquel transito que no se hubiera presentado sin el proyecto, y está constituido por:

**Tránsito Generado (TG**): El que aparece gracias a la disminución de los costos de operación de los vehículos del tránsito normal que se incentivan a utilizar más la vía.

**Tránsito de Desarrollo (TD)**: El cual es debido al mejoramiento en el uso del suelo y actividad económica en el área de influencia del camino.

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 + CNT+ TG+TD**

#### Crecimiento Normal del Tránsito

El documento de factibilidad presentado por el MOPTVDU registra el TPDA calculado a partir de aforos de tránsito realizados en el año 2012; el cual ha sido proyectado aplicando las tasas de crecimiento que se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Tasas de crecimiento del tránsito

|  |  |
| --- | --- |
| **Tipo de Vehículo** | **Período 2012-2041** |
| Vehículos de Pasajeros | 2.97% |
| Vehículos de Trasporte Público | 0.33% |
| Vehículos de Carga | 2.97% |

#### Tránsito normal

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 el Cuadro 6.

Cuadro 6: Tránsito Promedio Diario Anual en la Vía

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Año** | **Automóvil** | **Pickup** | **Microbus** | **Bus** | **C2** | **C3** | **T2S1** | **T2S2** | **T3S2** | **T3S3** | **TOTAL** |
| 2012 | 430 | 1.384 | 72 | 123 | 117 | 10 | 0 | 0 | 185 | 26 | 2.347 |
| 2013 | 443 | 1.425 | 72 | 123 | 120 | 10 | 0 | 0 | 190 | 27 | 2.411 |
| 2014 | 456 | 1.467 | 72 | 124 | 124 | 11 | 0 | 0 | 196 | 28 | 2.478 |
| 2015 | 469 | 1.511 | 73 | 124 | 128 | 11 | 0 | 0 | 202 | 28 | 2.546 |
| 2016 | 483 | 1.556 | 73 | 125 | 132 | 11 | 0 | 0 | 208 | 29 | 2.617 |
| 2017 | 498 | 1.602 | 73 | 125 | 135 | 12 | 0 | 0 | 214 | 30 | 2.689 |
| 2018 | 512 | 1.649 | 73 | 125 | 139 | 12 | 0 | 0 | 220 | 31 | 2.764 |
| 2019 | 528 | 1.698 | 74 | 126 | 144 | 12 | 0 | 0 | 227 | 32 | 2.840 |
| 2020 | 543 | 1.749 | 74 | 126 | 148 | 13 | 0 | 0 | 234 | 33 | 2.919 |
| 2021 | 559 | 1.801 | 74 | 127 | 152 | 13 | 0 | 0 | 241 | 34 | 3.001 |
| 2022 | 576 | 1.854 | 74 | 127 | 157 | 13 | 0 | 0 | 248 | 35 | 3.084 |
| 2023 | 593 | 1.909 | 75 | 128 | 161 | 14 | 0 | 0 | 255 | 36 | 3.171 |
| 2024 | 611 | 1.966 | 75 | 128 | 166 | 14 | 0 | 0 | 263 | 37 | 3.259 |
| 2025 | 629 | 2.024 | 75 | 128 | 171 | 15 | 0 | 0 | 271 | 38 | 3.351 |
| 2026 | 648 | 2.084 | 75 | 129 | 176 | 15 | 0 | 0 | 279 | 39 | 3.445 |
| 2027 | 667 | 2.146 | 76 | 129 | 181 | 16 | 0 | 0 | 287 | 40 | 3.542 |
| 2028 | 687 | 2.210 | 76 | 130 | 187 | 16 | 0 | 0 | 295 | 42 | 3.641 |
| 2029 | 707 | 2.275 | 76 | 130 | 192 | 16 | 0 | 0 | 304 | 43 | 3.744 |
| 2030 | 728 | 2.343 | 76 | 131 | 198 | 17 | 0 | 0 | 313 | 44 | 3.850 |
| 2031 | 749 | 2.412 | 77 | 131 | 204 | 17 | 0 | 0 | 322 | 45 | 3.958 |
| 2032 | 772 | 2.484 | 77 | 131 | 210 | 18 | 0 | 0 | 332 | 47 | 4.070 |
| 2033 | 795 | 2.558 | 77 | 132 | 216 | 18 | 0 | 0 | 342 | 48 | 4.186 |
| 2034 | 818 | 2.633 | 77 | 132 | 223 | 19 | 0 | 0 | 352 | 49 | 4.304 |
| 2035 | 842 | 2.712 | 78 | 133 | 229 | 20 | 0 | 0 | 362 | 51 | 4.427 |
| 2036 | 867 | 2.792 | 78 | 133 | 236 | 20 | 0 | 0 | 373 | 52 | 4.552 |
| 2037 | 893 | 2.875 | 78 | 134 | 243 | 21 | 0 | 0 | 384 | 54 | 4.682 |
| 2038 | 920 | 2.960 | 78 | 134 | 250 | 21 | 0 | 0 | 396 | 56 | 4.815 |
| 2039 | 947 | 3.048 | 79 | 134 | 258 | 22 | 0 | 0 | 407 | 57 | 4.953 |
| 2040 | 975 | 3.138 | 79 | 135 | 265 | 23 | 0 | 0 | 420 | 59 | 5.094 |
| 2041 | 1.004 | 3.232 | 79 | 135 | 273 | 23 | 0 | 0 | 432 | 61 | 5.239 |

#### Tránsito adicional derivado de la puesta en operación del Puerto de La Unión.

Para el tramo bajo estudio, se considera que la puesta en operación del puerto de La Unión bajo el esquema de concesión; provocará un desarrollo económico de la zona de influencia del proyecto, el cual vendrá asociado con un mayor flujo de mercancías desde y hacia el puerto. El transporte en tierra de estas mercancías será realizado por el sistema de carreteras del que el tramo en estudio forma parte, y que comunican al Puerto con los demás centros generadores y consumidores de mercancías a nivel nacional y regional.

Para establecer el volumen de tránsito de desarrollo asociado con la puesta en operación del Puerto; el MOPTVDU ha analizado el Estudio de Demandas de Puertos de El Salvador realizado en el año 2011 por la firma especializada Nathan Associates Inc.

En el referido estudio se realiza una asignación de los volúmenes de carga (medidos en TEU) de los puertos de la región Centroamericana, (entre los que se incluye el Puerto de La Unión operando a su capacidad), en el período 2011 -2031.

En la proyección de demanda establecida para los puertos de El Salvador, se presenta en el Cuadro 7.

En esas proyecciones se analizan tres escenarios de crecimiento de la demanda, y para el establecimiento del tránsito de desarrollo, se ha utilizado los datos del crecimiento macroeconómico base, ya que representa la proyección intermedia.

|  |  |
| --- | --- |
| Por otro lado, en el estudio también se hace un análisis de los potenciales flujos de carga inter portuaria; sí como de los flujos domésticos desde las diferentes zonas de El Salvador, hacia sus dos puertos principales.  En la Figura de la izquierda se representan los flujos establecidos. |  |

Cuadro 7: Proyección de demanda de los Puertos de El Salvador

Fuente: El Salvador Ports Demand Study, Nathan Associates, Inc. 2011.

En el Cuadro 8 se presenta el pronóstico de movimientos de carga (en miles de TEU’s) estimado para en el estudio para el año 2015 para los puertos de la región. Ahí se desglosa también la zona geográfica de origen y destino de la carga.

Cuadro 8: Pronóstico de movimiento de contenedores para el año 2015.



Fuente: El Salvador Ports Demand Study, Nathan Associates, Inc. 2011.

Como puede notarse, se estima que el Puerto de La Unión estaría moviendo 140,000 TEU’s.

En el Cuadro 9 se presenta la asignación de la carga proyectada para el Puerto de La Unión que utilizaría los dos segmentos de carretera que integran el proyecto bajo estudio. La misma se ha efectuado sobre la base de un análisis geográfico de las zonas y las vías de acceso a las mismas.

Cuadro 9: Asignación de la Carga del Puerto de La Unión a la Carretera



De lo anterior se establece que un 81% de la carga manejada en el Puerto de la Unión utilizará el Tramo: Desvío Sirama - Desvío Santa Rosa de Lima; mientras que en el Tramo: Desvío Santa Rosa de Lima – Frontera El Amatillo, pasaría un 65%.

Esta proporción ha sido utilizada para establecer el tránsito que se adicionará a la vía debido a la puesta en operación del Puerto.

El número de TEU’s proyectados anualmente, se ha dividido proporcionalmente entre los camiones T3-S2 y T3-S3, considerando que los mismos tienen la capacidad de transportar 1 TUE y 1.5 TEU respectivamente.

Adicionalmente, se ha establecido un incremento de los vehículos de pasajeros, en una proporción del 10% del número de camiones calculados; esto para considerar el efecto del incremento de la actividad económica sobre la flota de vehículos que trasportaría los bienes y servicios asociados al incremento de la actividad logística en el Puerto. El flujo de tránsito de desarrollo se presenta en el Cuadro 10.

Cuadro 10: proyección del tránsito debido a la puesta en operación del Puerto de La Unión

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Año** | **Automóvil** | **Pickup** | **Microbus** | **Bus** | **C2** | **C3** | **T2S1** | **T2S2** | **T3S2** | **T3S3** | **TOTAL** |
| 2012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| 2013 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1 | 7 |
| 2014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75 | 7 | 82 |
| 2015 | 3 | 11 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 144 | 14 | 174 |
| 2016 | 5 | 16 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 214 | 20 | 257 |
| 2017 | 7 | 21 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 283 | 26 | 340 |
| 2018 | 7 | 22 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 295 | 28 | 355 |
| 2019 | 7 | 23 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 307 | 29 | 369 |
| 2020 | 7 | 24 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 319 | 30 | 383 |
| 2021 | 8 | 25 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 333 | 31 | 400 |
| 2022 | 8 | 26 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 347 | 32 | 416 |
| 2023 | 8 | 27 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 361 | 34 | 433 |
| 2024 | 9 | 28 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 376 | 35 | 452 |
| 2025 | 9 | 30 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 392 | 37 | 473 |
| 2026 | 10 | 31 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 408 | 38 | 492 |
| 2027 | 10 | 32 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 425 | 40 | 512 |
| 2028 | 10 | 33 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 442 | 41 | 531 |
| 2029 | 11 | 35 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 461 | 43 | 555 |
| 2030 | 11 | 36 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 480 | 45 | 577 |
| 2031 | 12 | 38 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 500 | 47 | 602 |
| 2032 | 12 | 39 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 521 | 49 | 626 |
| 2033 | 13 | 41 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 542 | 51 | 653 |
| 2034 | 13 | 43 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 565 | 53 | 680 |
| 2035 | 14 | 44 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 588 | 55 | 707 |
| 2036 | 14 | 46 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 613 | 57 | 736 |
| 2037 | 15 | 48 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 638 | 60 | 768 |
| 2038 | 16 | 50 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 665 | 63 | 801 |
| 2039 | 16 | 52 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 693 | 66 | 835 |
| 2040 | 17 | 54 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 722 | 69 | 870 |
| 2041 | 18 | 57 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 752 | 72 | 907 |

Dado que el tránsito adicional que provocaría el Puerto se generaría de forma independiente a la mejora de la carretera, para la evaluación económica este flujo de tránsito se ha considerado como parte de la demanda en las opciones Con y Sin Proyecto.

#### Tránsito generado

El tráfico generado está constituido por viajes adicionales que los usuarios que integran el tráfico normal realizan debido al menor costo de operar (viajar) en la vía mejorada: “a menor costo mayor demanda”.

El tránsito generado puede ser establecido en función de la elasticidad de la demanda del mismo, La demanda por transporte en general tiende a ser inelástica, o sea con una elasticidad menor que 1,0.

Dado que no se tienen estudios específicos en Nicaragua para definir estas curvas de elasticidad de la demanda, se hace necesario echar mano de algunos resultados obtenidos en estudios realizados en otras áreas geográficas, para analizarlos e identificar lo aplicable en el presente estudio.

En otros países el tema ha sido más estudiado, Todd Litman escribió un artículo para el Instituto de Ingenieros de Transporte (ITE) en 2001 en el cual resume los hallazgos de varios estudios que han examinado los volúmenes de tráfico generado para proyectos específicos usando diversas metodologías, A continuación se presenta los resúmenes de algunos estudios relevantes para proyectos similares a los aquí estudiados:

• Un estudio de SACTRA en 1994 conducido por economistas de renombre del Reino Unido concluyó que la elasticidad del número de viajes con respecto al tiempo de viaje es 0,5 en el corto plazo y de 1,0 en el largo plazo, Al reducir el tiempo de viaje en un carretera en un 20% típicamente incrementa los volúmenes de tráfico en un 10% en el corto plazo y en un 20% en el largo plazo.

• Phil Goodwin en un artículo de 1996 reportó para carreteras rurales que la elasticidad de viajes en coches con respecto al tiempo de viaje es 0,67 en el corto plazo y 1,33 en el largo plazo y que éstos son los valores empleados en el programa de computo SMITE del FHWA.

• El National Highway Institute (1995) concluyó que la elasticidad para viajes por carretera con respecto al costo generalizado de los usuarios (tiempo de viaje y gastos financieros) es típicamente 0,5.

Por otro lado, el Departamento para en Desarrollo Internacional (DFID) en su Guía para la evaluación de proyectos de carreteras[[2]](#footnote-2) establece que, de la evidencia de varios estudios de evaluación realizados en países en vía de desarrollo; establece el rango de 0,6 a 2,0 para los valores de elasticidad de la demanda de transporte, Siendo un valor promedio igual a 1, Las evidencias también sugieren que la elasticidad de la demanda para vehículos de pasajeros es usualmente mayor que la de los vehículos de carga.

En consecuencia, para el presente estudio se ha empleado una elasticidad de 0,5 para vehículos livianos y de 0,25 para transporte de carga y de pasajeros, Esta reducción busca reflejar que estos vehículos operan bajo un régimen de mercado que es menos flexible en cuanto a tarifas y horarios.

Para cada uno de los tipos de vehículos analizados, se ha calculado el porcentaje de ahorro en los costos de operación vehicular en el año de apertura, El Cuadro 7 muestra la reducción en costos de operación vehicular para la alternativa de superficie de rodamiento a base de mezcla asfáltica en caliente (MAC) con respecto a la situación “sin proyecto”.

Cuadro 11: Porcentaje de reducción en costos de operación.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| COV | Privados | Públicos | Carga |
| Sin Proyecto | 0,36 | 1,6 | 1,23 |
| Alternativa MAC | 0,35 | 1,46 | 1,23 |
| ΔCOV% | 2,8% | 8,8% | 0,0% |

#### Tránsito Total

El transito total integrado por el tránsito normal más el tránsito generados se presenta en el Cuadro 12

Cuadro 12: Proyección del tránsito total

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Año** | **Auto** | **Bus** | **C2** | **C3** | **Microbus** | **PickUp** | **T3S2** | **T3S3** | **Total** |
| 2013 | 443 | 123 | 120 | 10 | 72 | 1,425 | 190 | 27 | 2,412 |
| 2014 | 456 | 124 | 124 | 11 | 72 | 1,467 | 196 | 28 | 2,478 |
| 2015 | 471 | 125 | 128 | 11 | 73 | 1,517 | 269 | 34 | 2,628 |
| 2016 | 486 | 126 | 132 | 11 | 74 | 1,567 | 342 | 42 | 2,779 |
| 2017 | 509 | 129 | 135 | 12 | 76 | 1,639 | 415 | 48 | 2,964 |
| 2018 | 526 | 130 | 139 | 12 | 76 | 1,692 | 489 | 55 | 3,120 |
| 2019 | 542 | 131 | 144 | 12 | 77 | 1,743 | 506 | 57 | 3,212 |
| 2020 | 558 | 131 | 148 | 13 | 77 | 1,795 | 525 | 59 | 3,306 |
| 2021 | 575 | 132 | 152 | 13 | 77 | 1,848 | 544 | 61 | 3,403 |
| 2022 | 592 | 132 | 157 | 13 | 78 | 1,903 | 564 | 63 | 3,503 |
| 2023 | 610 | 133 | 161 | 14 | 78 | 1,960 | 585 | 66 | 3,607 |
| 2024 | 628 | 134 | 166 | 14 | 78 | 2,019 | 606 | 68 | 3,713 |
| 2025 | 646 | 134 | 171 | 15 | 79 | 2,079 | 629 | 71 | 3,823 |
| 2026 | 666 | 135 | 176 | 15 | 79 | 2,141 | 652 | 73 | 3,936 |
| 2027 | 686 | 135 | 181 | 15 | 79 | 2,204 | 676 | 76 | 4,053 |
| 2028 | 706 | 136 | 187 | 16 | 80 | 2,270 | 701 | 79 | 4,174 |
| 2029 | 727 | 136 | 192 | 16 | 80 | 2,338 | 726 | 81 | 4,298 |
| 2030 | 749 | 137 | 198 | 17 | 80 | 2,407 | 753 | 84 | 4,426 |
| 2031 | 771 | 138 | 204 | 17 | 81 | 2,479 | 781 | 88 | 4,558 |
| 2032 | 794 | 138 | 210 | 18 | 81 | 2,553 | 809 | 91 | 4,694 |
| 2033 | 818 | 139 | 216 | 18 | 81 | 2,629 | 839 | 94 | 4,834 |
| 2034 | 842 | 139 | 223 | 19 | 82 | 2,708 | 870 | 97 | 4,979 |

## Costos y Beneficios económicos

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

### Costo de las alternativas

#### 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 y Con Proyecto

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nombre de la Actividad** | **Unidad** | **Costo (US$)** | **Criterio de Intervención** |
| Bacheo Bituminoso | M2 | 33,23 | No, De baches/km ≥ 3 |
| Sellado de fisuras | M2 | 3,04 | Anual |
| Limpieza de derecho de vía | Km/Año | 2.560 | Anual |

#### Costos de la Intervención

El costo de la intervención se presenta en el Cuadro 13.

Cuadro 13: Costo de la intervención

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **CONCEPTO DE COSTO** | **PRECIO DE MERCADO** | **FACTOR DE CORRECCIÓN** | **PRECIO DE EFICIENCIA** |
| **CONSTRUCCIÓN** |  |  |  |
| COSTO DIRECTO | $15049.701 | 0,88 | $13243.737 |
| COSTOS INDIRECTOS |  |  |  |
| 1. Costos Administrativos y de Operación de Oficina | $79.875 | 0,90 | $71.888 |
| 2. Costos de Administración y Dirección Técnica de Proyecto | $517.923 | 0,90 | $466.131 |
| 3. Costos Financieros | $450.761 | 0,88 | $396.670 |
| 4. Imprevistos | $2257.455 | 0,00 | $0 |
| 5. Utilidad | $1504.970 | 0,88 | $1324.374 |
| IMPUESTOS |  |  |  |
| 1. Impuesto sobre la renta | $451.896 |  |  |
| 2. Impuesto al Valor Agregado | $2640.636 |  |  |
| **SUPERVISIÓN** |  |  |  |
| COSTO DIRECTO | $1012.015 | 0,90 | $910.813 |
| COSTOS INDIRECTOS |  |  |  |
| 1. Costos Administrativos y de Operación de Oficina | $60.721 | 0,90 | $54.649 |
| 2. Costos de Administración y Dirección Técnica de Proyecto | $187.223 | 0,90 | $168.500 |
| 3. Costos Financieros | $30.360 | 0,88 | $26.717 |
| 5. Utilidad | $101.201 | 0,88 | $89.057 |
| IMPUESTOS |  |  |  |
| 1. Impuesto sobre la renta | $30.360 |  |  |
| 2. Impuesto al Valor Agregado | $184.844 |  |  |
| **DISEÑO** |  |  |  |
| COSTO DIRECTO | $370.528 | 0,90 | $333.476 |
| COSTOS INDIRECTOS |  |  |  |
| 1. Costos Administrativos y de Operación de Oficina | $22.232 | 0,90 | $20.009 |
| 2. Costos de Administración y Dirección Técnica de Proyecto | $68.548 | 0,90 | $61.693 |
| 3. Costos Financieros | $66.695 | 0,88 | $58.692 |
| 5. Utilidad | $37.053 | 0,88 | $32.607 |
| IMPUESTOS |  |  |  |
| 1. Impuesto sobre la renta | $11.116 |  |  |
| 2. Impuesto al Valor Agregado | $74.902 |  |  |
| **DERECHOS DE VIA** | $443.798 |  |  |
| **TOTAL** | **$25654.814** |  | **$17259.011** |

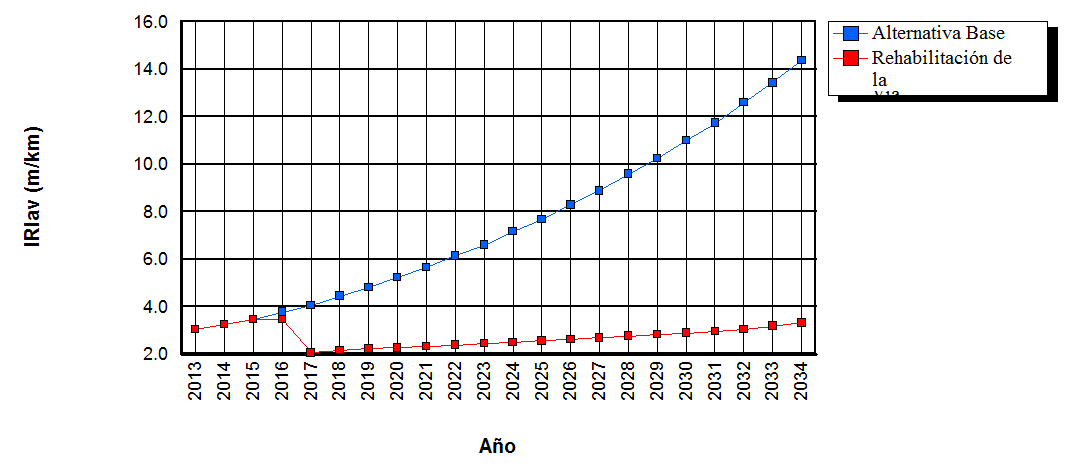
### **Beneficio**s

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.

#### Mejora de la rugosidad de la vía

La rugosidad de la vía está directamente asociada a los costos de operación delos vehículos que la utilizan. En comparación con la situación Sin Proyecto, con la rehabilitación de la vía se genera una mejora sustancial de la rugosidad lo que provocará ahorros en costos de operación vehicular, tal como se evidencia en la Ilustración 2.

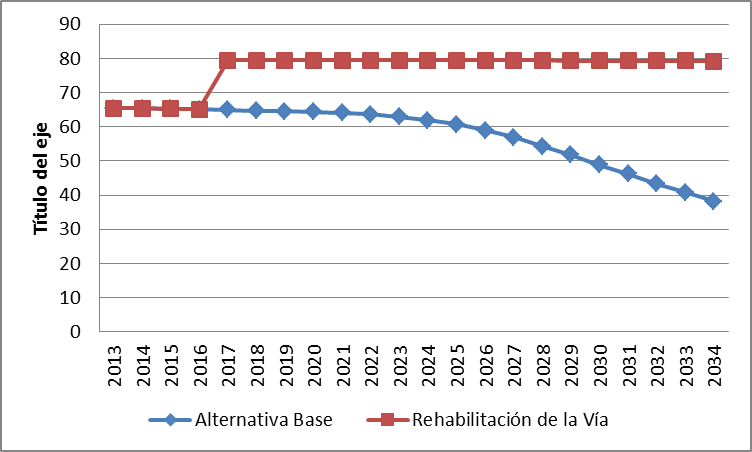
Ilustración 2: Evolución de la rugosidad



#### Incremento de la velocidad de operación

La velocidad promedio de operación en el tramo vial está asociada a los tiempos de viaje de los vehículos que utilizan la vía. La XX muestra que con la rehabilitación del proyecto se posibilitarían velocidades medias mayores, lo que generaría ahorros en tiempos de viaje.

Ilustración 3: Velocidad media de operación



#### Beneficios totales

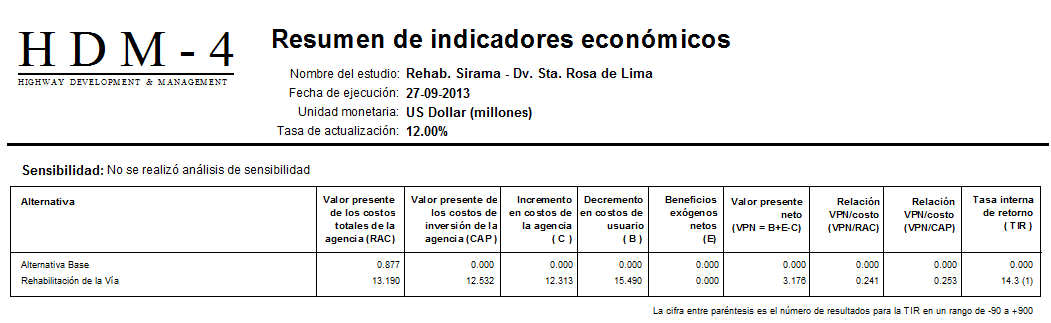
El flujo de beneficios resultantes de comparar los costos totales del transporte calculados para el proyecto, en comparación a los correspondientes a la opción Sin Proyecto se presentan en el Cuadro 15.

Cuadro 15: Flujo de Beneficios (En US$ Millones)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **AÑO** | **INCREMENTO EN COSTOS DE LA AGENCIA** | | | **AHORRO EN COSTOS DE LOS USUARIOS** | | | | **T. EXOGENOS** | **SUB TOTAL** |
| **T. INVERSION** | **T. RECURRENTE** | **T. ESPECIALES** | **T. COV  NORMAL** | **T. TIEMPO   NORMAL** | **T. COV GENERADO** | **T. TIEMPO  GENERADO** |
| 2013 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2014 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2015 | 5,163 | -0,004 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -5,159 |
| 2016 | 12,047 | -0,069 | 0,000 | 0,119 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -11,857 |
| 2017 | 0,000 | -0,002 | 0,000 | 0,107 | 0,600 | 0,000 | 0,005 | 0,000 | 0,713 |
| 2018 | 0,000 | -0,068 | 0,000 | 0,308 | 0,626 | 0,001 | 0,005 | 0,000 | 1,007 |
| 2019 | 0,000 | -0,001 | 0,000 | 0,482 | 0,648 | 0,001 | 0,005 | 0,000 | 1,137 |
| 2020 | 0,000 | -0,068 | 0,000 | 0,720 | 0,674 | 0,002 | 0,005 | 0,000 | 1,469 |
| 2021 | 0,000 | -0,001 | 0,000 | 0,950 | 0,704 | 0,003 | 0,006 | 0,000 | 1,663 |
| 2022 | 0,000 | -0,066 | 0,000 | 1,243 | 0,744 | 0,003 | 0,006 | 0,000 | 2,063 |
| 2023 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,526 | 0,791 | 0,004 | 0,006 | 0,000 | 2,328 |
| 2024 | 0,000 | -0,069 | 0,000 | 1,879 | 0,859 | 0,005 | 0,007 | 0,000 | 2,820 |
| 2025 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,215 | 0,941 | 0,006 | 0,007 | 0,000 | 3,171 |
| 2026 | 0,000 | -0,066 | 0,000 | 2,653 | 1,063 | 0,008 | 0,008 | 0,000 | 3,798 |
| 2027 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,114 | 1,220 | 0,009 | 0,010 | 0,000 | 4,352 |
| 2028 | 0,000 | -0,068 | 0,000 | 3,707 | 1,447 | 0,010 | 0,011 | 0,000 | 5,244 |
| 2029 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,340 | 1,700 | 0,012 | 0,013 | 0,000 | 6,066 |
| 2030 | 0,000 | -0,066 | 0,000 | 5,166 | 2,033 | 0,014 | 0,016 | 0,000 | 7,296 |
| 2031 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 6,061 | 2,397 | 0,016 | 0,019 | 0,000 | 8,492 |
| 2032 | 0,000 | -0,068 | 0,000 | 7,168 | 2,853 | 0,019 | 0,022 | 0,000 | 10,131 |
| 2033 | 0,000 | 0,004 | 0,000 | 8,267 | 3,329 | 0,021 | 0,026 | 0,000 | 11,639 |
| 2034 | -1,721 | -0,063 | 0,000 | 9,555 | 3,903 | 0,025 | 0,030 | 0,000 | 15,297 |
| **Total general** | **15,489** | **-0,677** | **0,000** | **59,581** | **26,532** | **0,159** | **0,209** | **0,000** | **71,669** |

## Rentabilidad económica

El sumario de indicadores económicos obtenidos del modelo HDM-4, se presentan a continuación:



Al analizar los indicadores económicos que resultan de comparar las alternativas; se deduce que la Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE) calculada más alta, corresponde a la alternativa de Mescla Asfáltica en Caliente, con valor de 14,3%, Por su parte, el Valor Actual Neto Económico (VANE) calculado de US$ 3,173 millones.

## Análisis de sensibilidad

Para revisar el efecto en la rentabilidad del proyecto generado por el riesgo en variaciones sustanciales en los supuestos del análisis económico han sido simuladas en el modelo HDM-4 las variaciones siguientes:

1. Aunque en la evaluación económica de algunos proyectos de infraestructura, es usual utilizar un incremento del 15% en los costos para analizar su sensibilidad; para el presente análisis se ha utilizado rigurosamente un incremento de un 20% en los costos de la Agencia Vial (inversión y mantenimiento), y preservando el flujo de beneficios invariable. Con esta variación se analiza la sensibilidad de la rentabilidad ante posibles variaciones en el costo de las obras.
2. Decremento de un 20% en los Beneficios alcanzados (Costos de operación vehicular y el tiempo de viaje del Pasajero), manteniendo los Costos de la Agencia Vial (Inversión y Mantenimiento). Esta sensibilidad considera implícitamente el efecto de la reducción en las proyecciones del crecimiento del tránsito así como las estimaciones de los ahorros en costos de operación vehicular y el tiempo de viaje.
3. Una combinación de las situaciones anteriores (Incremento de 10 % en los Costos de la Agencia Vial en Inversión y Mantenimiento, y un decremento del 10 % en los Beneficios calculados).

La variación de los resultados se presenta en el Cuadro 17.

Cuadro 17: Resultados del Análisis de Sensibilidad.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Escenario** | **VANE Mill. ($)** | **TIRE (%)** |
| Base | 3,176 | 14,3 |
| + 20 % de Costos | 0,714 | 12,5 |
| - 20 % de Beneficios | 0,078 | 12,1 |
| Combinación de +10% de Costos y -10% de Beneficios | 0,396 | 12,3 |

## 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 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 16; como puede notarse, el Valor Presente Neto de los beneficios se hace cero, cuando los costos viales se incrementan a un 126%.

Cuadro 18: 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 17; como puede notarse, el Valor Presente Neto Económico de los beneficios se hace cero, cuando los ahorros en COV se reducen a un 21%.

Cuadro 19: Análisis de Frontera de Beneficios COV



## Conclusiones

Del análisis de sensibilidad y valores de frontera, se deduce que la viabilidad económica es muy 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)

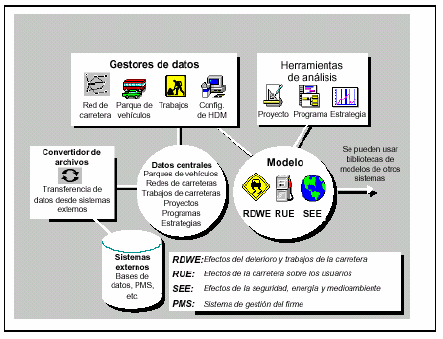


Figura 1 Estructura del HDM-4

## 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 programa:

* **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.

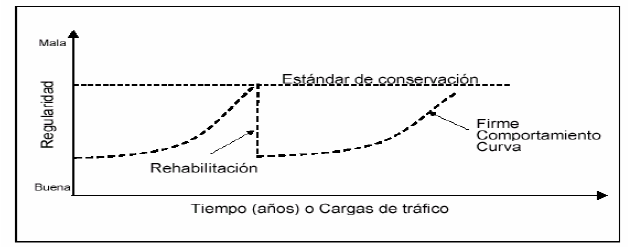


Figura 2 Concepto del Análisis del ciclo de Vida en el modelo HDM-4

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,

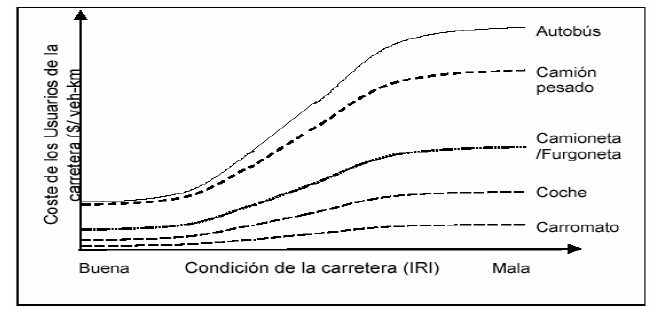


Figura 3 Efecto del estado de la carretera en los costos de operación del vehículo

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 programa 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 programa 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 programa 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)
2. DFID TRL, Overseas Road Note 5, 2005 [↑](#footnote-ref-2)