DOCUMENTO DEL BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO

NICARAGUA

PROGRAMA DE APOYO AL SECTOR TRANSPORTE III

(NI-L1071)

Análisis de Costos de Proyectos y Viabilidad Económica

Mayo de 2013

Este documento fue preparado por el Equipo de Proyecto compuesto por: Alfonso Salazar (TSP/CNI), Jefe de Equipo; Luis Uechi (INE/TSP ), Jefe de Equipo Alterno, Alejandro Gómez (TSP/CDR);) y Roque Rodas (Consultor).

**SIGLAS Y ABREVIATURAS**

|  |  |
| --- | --- |
| BID | Banco Interamericano de Desarrollo |
| COV | Costos de Operación Vehicular |
| FOMAV | Fondo de Mantenimiento Vial |
| HDM-4 | Highway Development and Management Model |
| IRI | Índice Internacional de Rugosidad |
| TIRE | Tasa Interna de Retorno Económico |
| VANE | Valor Actual Neto Económico |

Contenido

[1 Introducción 5](#_Toc357716629)

[1.1 Tipo de análisis realizado 6](#_Toc357716630)

[1.2 Descripción de Beneficios 7](#_Toc357716631)

[1.2.1 Ahorros en Costos de Operación Vehicular (COV) 7](#_Toc357716632)

[1.2.2 Ahorros en Costos de Mantenimiento Vial 7](#_Toc357716633)

[1.2.3 Ahorro de tiempo 8](#_Toc357716634)

[1.2.4 Reducción de costos de accidentes 8](#_Toc357716635)

[1.2.5 Beneficio de desarrollo económico 8](#_Toc357716636)

[1.3 Parámetros utilizados para la evaluación socioeconómica 8](#_Toc357716637)

[1.3.1 Tasa Social de Descuento 8](#_Toc357716638)

[1.3.2 Factor de Precio Sombra 8](#_Toc357716639)

[1.4 Modelo de Evaluación 9](#_Toc357716640)

[2 Mejoramiento Empalme Malpaisillo – Villa 15 De Julio 11](#_Toc357716641)

[2.1 Ubicación 11](#_Toc357716642)

[2.2 Beneficiarios 12](#_Toc357716643)

[2.3 Supuestos y metodología de evaluación 12](#_Toc357716644)

[2.3.1 Definición de Alternativas 13](#_Toc357716645)

[2.3.2 Tránsito y sus proyecciones 14](#_Toc357716646)

[2.4 Costos y Beneficios económicos 20](#_Toc357716647)

[2.4.1 Costo de las alternativas 20](#_Toc357716648)

[2.4.2 Beneficios 22](#_Toc357716649)

[2.5 Rentabilidad económica 27](#_Toc357716653)

[2.6 Análisis de sensibilidad 28](#_Toc357716654)

[2.7 Valores de Frontera 29](#_Toc357716655)

[2.7.1 Frontera de Costos Viales 29](#_Toc357716657)

[2.7.2 Frontera de Beneficios de COV 29](#_Toc357716658)

[2.8 Conclusiones 30](#_Toc357716659)

[3 Rehabilitación de la Carretera Boaco – Muy Muy 31](#_Toc357716660)

[3.1 Ubicación 31](#_Toc357716661)

[3.2 Beneficiarios 32](#_Toc357716662)

[3.3 Supuestos y metodología 32](#_Toc357716663)

[3.3.1 Definición de Alternativas 34](#_Toc357716664)

[3.3.2 Proyecciones de crecimiento del tránsito 35](#_Toc357716665)

[3.4 Costos y Beneficios económicos 35](#_Toc357716666)

[3.4.1 Costo de las alternativas 36](#_Toc357716667)

[3.4.2 Beneficios 38](#_Toc357716668)

[3.5 Rentabilidad económica 40](#_Toc357716669)

[3.6 Análisis de sensibilidad 40](#_Toc357716670)

[3.7 Valores de Frontera 41](#_Toc357716671)

[3.7.1 Frontera de Costos Viales 41](#_Toc357716673)

[3.7.2 Frontera de Beneficios de COV 42](#_Toc357716675)

[3.8 Conclusiones 42](#_Toc357716676)

[4 Mantenimiento Carretera Empalme Las Piedrecitas - Nagarote - Empalme Izapa 43](#_Toc357716677)

[4.1 Ubicación 43](#_Toc357716678)

[4.2 Beneficiarios 44](#_Toc357716679)

[4.3 Supuestos y metodología 44](#_Toc357716681)

[4.3.1 Definición de Alternativas 45](#_Toc357716682)

[4.3.2 Transito normal y generado 46](#_Toc357716683)

[4.4 Costos y Beneficios económicos 47](#_Toc357716684)

[4.4.1 Costos de la Alternativa “Sin Proyecto” 47](#_Toc357716685)

[4.4.2 Flujo de Costos Totales de la Alternativa “Con Proyecto” 47](#_Toc357716686)

[4.4.3 Beneficios 48](#_Toc357716687)

[4.5 Rentabilidad económica 48](#_Toc357716688)

[4.6 Análisis de sensibilidad 49](#_Toc357716689)

[4.7 Valores de Frontera 50](#_Toc357716690)

[4.7.1 Frontera de Costos Viales 50](#_Toc357716691)

[4.7.2 Frontera de Beneficios de COV 50](#_Toc357716692)

[4.8 Conclusiones 51](#_Toc357716693)

[Anexo 1: Visión General Modelo HDM-4 52](#_Toc357716694)

[Introducción 52](#_Toc357716695)

[Descripción del HDM-4 52](#_Toc357716696)

[Objetivos del desarrollo del HDM-4 54](#_Toc357716697)

[Marco analítico del HDM-4 54](#_Toc357716698)

[Funcionamiento del HDM-4 56](#_Toc357716699)

# Introducción

En los siguientes apartados se hace una valoración de la viabilidad económica de los proyectos de la muestra presentados para la operación NI-L1071 “Programa de Apoyo al Sector Transporte III”.

El detalle de los proyectos analizados corresponde a la totalidad de las obras consideradas para los componentes 1 y 5, el Cuadro 1 presenta información en cuanto a nombre de proyecto, longitud y costo estimado de las obras.

Cuadro 1: Detalle de Proyectos

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| PROYECTOS | | Longitud (km) | Monto  (US$ Miles) |
| **Componente 1: Caminos Productivos / Red Troncal** | | | |
| Mejoramiento Empalme Malpaisillo – Villa 15 de Julio  (Pavimentación del camino, construcción de ocho puentes, así como obras de drenaje transversal y longitudinal, señalización y obras de mitigación ambiental y la supervisión de las obras) | | 36,40 | 30.307,3 |
| Rehabilitación de Carretera Boaco-Muy Muy  (Estabilización de materiales de base y subrasante, sustitución de capa de rodadura, sustitución de alcantarillas y rehabilitación del drenaje transversal, señalización y obras de mitigación ambiental y la supervisión de las obras) | | 24,68 | 11.584,2 |
| **Componente 5: Mantenimiento Vial** | | | |
| Mantenimiento Carretera Las Piedrecitas - Nagarote - Empalme Izapa  (Refuerzos asfálticos, señalización en el primer año y mantenimiento por estándares por tres años y la supervisión de las obras) | | 60,50 | 15.315,6 |
|  | **TOTAL** | **121,58** | **57.207,1** |

Los proyectos incluidos en el componente 1 son responsabilidad del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), mientras que la responsabilidad de la ejecución del Componente 5 está a cargo del Fondo de Mantenimiento Vial (FOMAV).

Ambas entidades ejecutoras entregaron al Banco los documentos de factibilidad de sus proyectos, 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 de cada proyecto, en base a la información proporcionada y de estimaciones propias y fundamentadas.

Los beneficiarios de los componentes de inversión vial se presentan en el Cuadro 2; y ascienden a 419.850 habitantes compuestos por 214.253 (51%) mujeres y 205.597(49%) hombres. En los apartados de este documento correspondientes al análisis de cada proyecto se detalla la forma en que han sido determinado el número de beneficiarios.

Cuadro 2: Población Beneficiada

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **PROYECTOS** | **MUJERES** | **HOMBRES** | **TOTAL** |
|
| **Componente 1: Caminos Productivos / Red Troncal** | | |  |
| Mejoramiento Empalme Malpaisillo – Villa 15 de Julio | 97.522 | 93.489 | 191.011 |
| Rehabilitación de Carretera Boaco-Muy Muy | 32.930 | 31.630 | 64.560 |
| **Componente 5: Mantenimiento Vial** | | |  |
| Mantenimiento Carretera Las Piedrecitas - Nagarote - Empalme Izapa | 83.801 | 80.478 | 164.279 |
| **TOTAL** | **214.253** | **205.597** | **419.850** |

Con el análisis de costos se ha verificado que las intervenciones propuestas en los proyectos, cuenten 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 presente operación.

## Tipo de análisis realizado

La valoración de la viabilidad económica de los proyectos se ha realizado a partir del análisis de beneficios en función del costo; el cual enumera y valora los beneficios y los costos de un proyecto y los reduce a un patrón de medida común. Los indicadores de viabilidad económica han sido obtenidos, a partir del flujo de beneficios deducido para cada proyecto en particular.

La determinación de los beneficios se obtiene de comparar los costos totales del transporte anualizados en un tramo carretero, generados en un período de análisis con 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 Mejoramiento o 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 de asociados la mejora 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 definitivos 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 tráfico y a la estrategia de mantenimiento de la carretera.

### Ahorros en Costos de Mantenimiento Vial

Una evaluación económica debe incluir 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 determinar 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 los costos económicos y sociales derivados de los mismos.

Cuando una carretera revestida es pavimentada, 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 del proyecto puede beneficiarse de una carretera mejorada. El alcance 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 utilizó 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 del bien o producto.

De tal modo que 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.).

En algunos de los Estudios de Factibilidad de los proyectos presentados por el MTI, se incluye la cuantificación de los precios económicos a partir de conversiones realizadas a sus elementos integrantes. No obstante, los análisis presentados por el MTI deducen factores de conversión general del orden de 0,55-0,89 para transformar costos financieros en costos económicos para las intervenciones de caminos. Ese rango de variación también fue evidenciada en otros costos analizados, tales como el mantenimiento vial y los asociados con la operación de vehículos.

Debido al amplio rango de variaciones registrado, para el presente análisis se optó por aplicar el factor general de 0,85 para convertir los costos financieros a costos socioeconómicos. Este factor es adecuado para la evaluación de proyectos viales en la región, y se considera aplicable para todos los costos totales del transporte (intervención, mantenimiento y COV); ya que lleva implícitas las consideraciones de ajustes a sus elementos integrantes (mano de obra, materiales, maquinaria, etc.).

## 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 3 y Cuadro 4 respectivamente.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Cuadro 3: Datos de Utilización y características Físicas de la Flota Vehicular | Fuente: Elaboración propia con base en datos proporcionados por la División de Preinversión del MTI | Cuadro 4: Valores económicos de los Insumos de la Flota Vehicular | Fuente: Elaboración propia con base en datos proporcionados por la División de Preinversión del MTI |

# Mejoramiento Empalme Malpaisillo – Villa 15 De Julio

## Ubicación

El tramo de carretera Malpaisillo – Villa 15 de Julio (delineado en color rojo en la Ilustración 1) tiene una longitud de 36,4 km y se ubica geográficamente en los departamentos de León y Chinandega (Ver Ilustración 1). De acuerdo a la clasificación funcional de carreteras del MTI, la vía se clasifica como Colectora Secundaria y se identifica como parte de la NIC-68 la NN-252.

Ilustración 1: Mapa de Ubicación de Carretera Malpaisillo – Villa 15 de Julio



**Tramos del Corredor Pacífico Mesoamericano**

**Proyecto**

La Paz Centro - Malpaisillo

**Proyecto**

Malpaisillo – Villa 15 de Julio

El MTI ha concebido que el proyecto propuesto, junto con el proyecto La Paz Centro – Malpaisillo (delineado en color verde en la Ilustración 1) previsto a financiarse con el préstamo Programa de Apoyo al Sector Transporte II (2840/BL-NI); conformará un corredor alternativo al recorrido actual del Corredor Pacífico Mesoamericano (delineado en color azul en la Ilustración 1), vía de circulación del trasporte pesado de carga hacia la frontera El Güasaule; y que actualmente pasa por los centros poblados de León y Chinandega.

Siendo que el corredor actual tiene una importante función dentro del corredor logístico de carga local y regional, se prevé que la habilitación del nuevo corredor 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 mejorado, además de los usuarios de los vehículos que se desviarían por el nuevo corredor; se estima que la población beneficiada directamente con el proyecto serán los habitantes de los municipios Chinandega, Telica y Lareymaga; la cual asciende a 191.011 habitantes[[2]](#footnote-2), de los cuales 93.489 (49%) son hombres y 97.522 (51%) mujeres.

Detalles adicionales de la población beneficiada se pueden encontrar en el estudio de factibilidad presentado por el MTI.

## Supuestos y metodología de evaluación

El análisis se basa en el supuesto de que con el mejoramiento 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.

Es de hacer notar que el MTI contaba con un estudio de factibilidad del proyecto, realizado en el año 2008 por el Asocio TYPSA S.A. – AZTEC con fondos de la Cuenta del Milenio. No obstante, en el estudio realizado se consideró el proyecto en forma aislada; es decir únicamente se establecieron los beneficios que el proyecto imprimiría en la economía de su zona de influencia y su tránsito histórico. Debido a que no se tomó en consideración la función de corredor que desempeñaría el tramo, los indicadores de rentabilidad calculados no fueron favorables (TIRE = 7%).

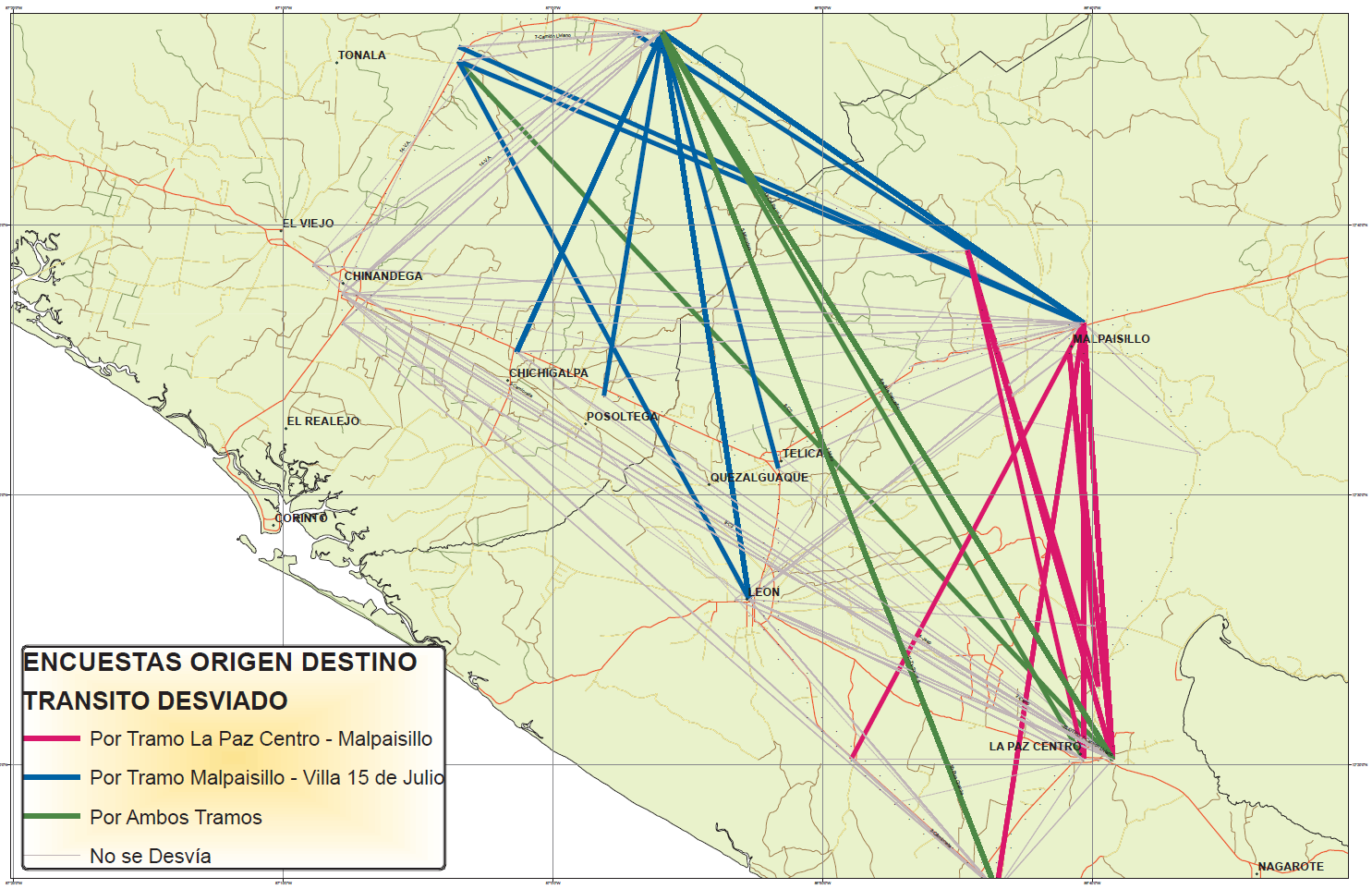
Por tal razón, y con el propósito de validar la hipótesis planteada, el Equipo de Proyecto requirió al MTI la realización de encuestas Origen – Destino en sitios seleccionados a efecto de identificar los deseos de viaje y sobre esa base cuantificar el tránsito que se desviaría por el nuevo corredor.

Con el propósito de generar adicionalidad en el proceso de análisis y preparación de la presente operación, el Consultor apoyó directamente al MTI en la selección de los puntos de aforo, la confección del formato de la encuesta, el registro y validación de la información recabada en el campo, así como el análisis de los datos. En total se relevaron un total de 2.583 encuestas, y de su análisis se pudieron definir los deseos de viaje, cuyos puntos geográficos de inicio y final se presentan en la Ilustración 2

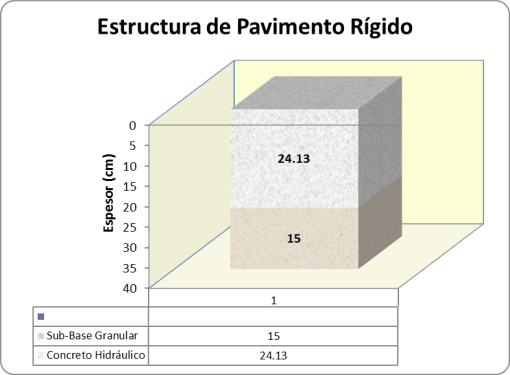
.

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 MTI en el apartado del estudio de tránsito del documento de factibilidad presentado al Banco.

Ilustración 2: Esquema de viajes que se desviarían por el nuevo corredor



### Definición de Alternativas

El proyecto comprende el ensanche y pavimentación de la vía actual sin variaciones importantes en el trazo de la misma, en consecuencia las alternativas analizadas se basan en la selección de la estructura de pavimento a construir; la cual deberá presentar un adecuado desempeño a las solicitaciones de carga establecidas con las estimaciones de volúmenes de tránsito. Estas alternativas se presentan a continuación:

#### Pavimento de concreto hidráulico

La opción de pavimento rígido está compuesta de una losa de concreto hidráulico de 24,13 cm de espesor, construida sobre una base granular de 15 cm que se apoya en el terreno de sub-rasante.

#### Pavimento de concreto Asfáltico

La opción de pavimento está compuesto por una capa de concreto asfáltico de 7,5 cm de espesor, construida sobre una base triturada de 15 cm, la que a su vez se apoya en una capa de sub-base granular de igual espesor, El paquete estructural se apoya en capa de material selecto de 25 cm, Esta estructura aporta un número estructural de 3,81.

Las alternativas arriba descritas han sido comparadas con la alternativa base, que consiste en la puesta en operación del proyecto La Paz Centro – Malpaisillo en el año 2015, y la realización del mantenimiento rutinario que habitualmente se efectúa sobre los tramos que conforman los corredores analizados.

### Tránsito y sus proyecciones

Como ya fue mencionado, el tránsito y su evolución a lo largo del período de análisis incidirán directamente en los costos totales de circulación sobre el tramo vial analizado. A continuación se presentan los resultados del análisis detallado del tránsito, el cual se ha realizado sobre la base de información recabada durante la preparación del estudio de factibilidad por TYPSA-AZTEC en el año 2008, así como los estudios de tránsito que el MTI realiza anualmente sobre la red vial bajo su competencia. Dado que los valores de tránsito obtenidos del estudio de TYPSA fueron calculados a partir de conteos de 7 días en jornadas de 12 horas, se estimaron como los más representativos; para proyectar los datos de calculados desde el 2008 hasta el 2013, se utilizó la tasa de crecimiento calculada para la Estación de Mayor Cobertura (EMC) que tiene relación directa con la carretera en estudio, en este caso la EMC 700 en la cual se registra una tasa de crecimiento anual del 5,1%.

En el Cuadro 5 se presenta la composición del TPDA de la vía calculada para el año 2013, a partir de los datos contenidos en el estudio de factibilidad.

Cuadro 5: Tránsito Promedio Diario Anual en la Vía

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Año** | **Auto** | **Bus** | **Camión Liviano** | **Camión Medio** | **Camión Remolque 4** | **Camioneta** | **Jeep** | **Micro bus** | **Mini Bus** | **Moto** | **Total** |
| **2013** | 9 | 19 | 13 | 13 | 4 | 86 | 23 | 4 | 3 | 36 | **210** |

#### Tránsito normal

El tránsito normal está compuesto por aquellos vehículos que usarán la vía, aún si esta no es mejorada.

Consecuentemente con la proyección del tránsito al año 2013; La tasa de crecimiento anual del tránsito normal utilizada en el presente análisis fue establecida en 5,1%. Los cálculos anuales del tránsito, por tipo de vehículo, se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro : Tránsito Promedio Diario Anual en la Vía

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Auto | Bus | Camión Liviano | Camión Medio | Camión Remolque 4 | Camioneta | Jeep | Micro bus | Mini Bus | Moto | Total |
| 2013 | 9 | 19 | 13 | 13 | 4 | 86 | 23 | 4 | 3 | 36 | 210 |
| 2014 | 9 | 20 | 14 | 14 | 4 | 90 | 24 | 4 | 3 | 38 | 221 |
| 2015 | 10 | 21 | 14 | 14 | 4 | 95 | 25 | 4 | 3 | 40 | 232 |
| 2016 | 10 | 22 | 15 | 15 | 5 | 100 | 27 | 5 | 3 | 42 | 244 |
| 2017 | 11 | 23 | 16 | 16 | 5 | 105 | 28 | 5 | 4 | 44 | 256 |
| 2018 | 12 | 24 | 17 | 17 | 5 | 110 | 29 | 5 | 4 | 46 | 269 |
| 2019 | 12 | 26 | 18 | 18 | 5 | 116 | 31 | 5 | 4 | 49 | 283 |
| 2020 | 13 | 27 | 18 | 18 | 6 | 122 | 33 | 6 | 4 | 51 | 297 |
| 2021 | 13 | 28 | 19 | 19 | 6 | 128 | 34 | 6 | 4 | 54 | 313 |
| 2022 | 14 | 30 | 20 | 20 | 6 | 135 | 36 | 6 | 5 | 56 | 329 |
| 2023 | 15 | 31 | 21 | 21 | 7 | 141 | 38 | 7 | 5 | 59 | 345 |
| 2024 | 16 | 33 | 22 | 22 | 7 | 149 | 40 | 7 | 5 | 62 | 363 |
| 2025 | 16 | 35 | 24 | 24 | 7 | 156 | 42 | 7 | 5 | 65 | 381 |
| 2026 | 17 | 36 | 25 | 25 | 8 | 164 | 44 | 8 | 6 | 69 | 401 |
| 2027 | 18 | 38 | 26 | 26 | 8 | 173 | 46 | 8 | 6 | 72 | 421 |
| 2028 | 19 | 40 | 27 | 27 | 8 | 181 | 49 | 8 | 6 | 76 | 443 |
| 2029 | 20 | 42 | 29 | 29 | 9 | 191 | 51 | 9 | 7 | 80 | 465 |
| 2030 | 21 | 44 | 30 | 30 | 9 | 200 | 54 | 9 | 7 | 84 | 489 |
| 2031 | 22 | 47 | 32 | 32 | 10 | 211 | 56 | 10 | 7 | 88 | 514 |
| 2032 | 23 | 49 | 33 | 33 | 10 | 221 | 59 | 10 | 8 | 93 | 540 |

#### 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[[3]](#footnote-3) 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 7: Porcentaje de aumento que se espera en el Tráfico Normal estimado a partir de la reducción en costos de operación (i,e, Tráfico Generado)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| COV | Auto | Bus | Camión Liviano | Camión Medio | Camión Remolque 4 | Camioneta | Jeep | Micro bus | Mini Bus | Moto |
| Sin Proyecto | 0,21 | 1,03 | 0,42 | 0,58 | 0,74 | 0,23 | 0,28 | 0,67 | 0,38 | 0,08 |
| Alternativa MAC | 0,17 | 0,79 | 0,33 | 0,46 | 0,66 | 0,19 | 0,22 | 0,52 | 0,31 | 0,07 |
| ΔCOV% | 17,69% | 23,43% | 21,35% | 20,41% | 11,79% | 17,74% | 20,22% | 22,43% | 17,91% | 11,66% |

Fuente: Elaboración propia del Consultor a partir de los resultados del modelo HDM-4.

A los valores porcentuales de ahorro en COV pro tipo de vehículos se les aplicó el factor de elasticidad específico; para luego aplicarlos a los valores de tránsito normal, a efecto de cuantificar el tránsito generado que se presenta en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Composición del tránsito desviado

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Año** | **Auto** | **Bus** | **Camión Liviano** | **Camión Medio** | **Camión Remolque 4** | **Camioneta** | **Jeep** | **Micro bus** | **Mini Bus** | **Moto** | **Total** |
| 2017 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 10 | 3 | 0 | 0 | 3 | 20 |
| 2018 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 10 | 3 | 0 | 0 | 3 | 21 |
| 2019 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 11 | 3 | 0 | 0 | 3 | 22 |
| 2020 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 11 | 3 | 0 | 0 | 3 | 23 |
| 2021 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 12 | 4 | 0 | 0 | 3 | 25 |
| 2022 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 13 | 4 | 0 | 0 | 3 | 26 |
| 2023 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 13 | 4 | 0 | 0 | 4 | 27 |
| 2024 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 14 | 4 | 0 | 0 | 4 | 28 |
| 2025 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 15 | 4 | 0 | 0 | 4 | 30 |
| 2026 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 15 | 5 | 0 | 0 | 4 | 31 |
| 2027 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 16 | 5 | 0 | 0 | 4 | 33 |
| 2028 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 17 | 5 | 0 | 0 | 5 | 35 |
| 2029 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 18 | 5 | 1 | 0 | 5 | 36 |
| 2030 | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 | 19 | 6 | 1 | 0 | 5 | 38 |
| 2031 | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 | 20 | 6 | 1 | 0 | 5 | 40 |
| 2032 | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 | 21 | 6 | 1 | 0 | 6 | 42 |

Fuente: Elaboración propia del Consultor.

#### Tránsito desviado

El tránsito desviado se define como aquel que actualmente circula por rutas diferentes al tramo intervenido; y que luego del mejoramiento propuesto, optaría por dejar de circular por tales rutas para utilizar el tramo mejorado, debido a las ventajas comparativas que presentaría. Estas ventajas son generalmente ahorros en tiempo de traslado y distancia de recorrido, lo que redunda en ahorros de costos de operación vehicular y de tiempos de usuarios.

Para cuantificar el tránsito desviado, con el apoyo del Consultor contratado por el equipo de trabajo, el MTI emprendió la realización de encuestas Origen – Destino; luego de su tabulación y con la ayuda de una interface de información geográfica fueron identificados los viajes que optarían por utilizar el nuevo corredor.

Dado que las encuestas representan una muestra del total de vehículos que pasan diariamente por los tramos viales analizados; los valores obtenidos fueron expandidos a efecto de cuantificar el número de vehículos que estarían desviándose diariamente[[4]](#footnote-4).

El análisis de tránsito desviado se ha realizado tomando en cuenta que el tramo intervenido, junto con el tramo La Paz Centro – Malpaisillo, se constituiría en un corredor alternativo al actual trayecto del Corredor Pacífico Mesoamericano que pasa entre los puntos Villa 15 de Julio y La Paz Centro.

De acuerdo a la programación de las obras, se prevé que el tramo La Paz Centro – Malpaisillo entraría en operación dos años antes (2015) que el tramo bajo estudio, el cual se estima entrará en operación a partir del año 2017.

Por tal razón, se han definido dos eventos de desvío de tránsito así:

El primer evento ocurriría con la puesta en operación del tramo La Paz Centro – Malpaisillo. En el Cuadro 9 se presenta el TPDA proyectado al año 2015 de las secciones viales que conforman los corredores analizados. Esto es tomando en cuenta que no ha entrado en operación el tramo mejorado de La Paz Centro – Malpaisillo.

Cuadro : Tránsito promedio diario anual año 2015, sin la puesta en

operación del tramo La Paz Centro - Malpaisillo

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Corredor** | **Nombre de Sección** | **TPDA (2015)** |
| Actual | Chinandega (Rotonda) - Ranchería NIC-24B 131.90-151.0 | 4.172 |
| Emp. Chichigalpa - Rotonda Agateite (Chinandeg NIC-12A 120.74-131.9 | 9.747 |
| Emp. Izapa - León NIC-12A 066.80-091.5 | 10.384 |
| Emp. Mina El Limon - Ent. Malpaisillo NIC-26 119.24-126.15 | 1.856 |
| Emp. Quezalguaque - Emp. Chichigalpa NIC-12A 105.79-120.7 | 7.478 |
| Emp. Telica - Emp. Mina El Limon NIC-26 102.42-119.24 | 1.856 |
| Emp. Telica - Emp. Quezalguaque NIC-12A 102.42-105.7 | 7.181 |
| La Paz Centro - Emp. Izapa NIC-28 056.61-066.80 | 6.401 |
| León - Emp. Telica (Inter.Nic-26) NIC-12A 091.59-102.4 | 8.485 |
| Ranchería - Villa 15 de Julio NIC-24B 151.08-164.1 | 2.773 |
| Nuevo | ADQ\_S7\_T1\_La Paz Centro-Malpaisillo | 560 |
| NP\_S7\_T2\_La Paz Centro-Malpaisillo | 546 |
| NP\_S8\_Emp. A Las Marías - Las María NN-252 126.29-138.36 | 232 |
| NP\_S8\_Emp. Mina El Limón - Emp. A Las Maria NIC-68 119.24-126.24 | 232 |
| NP\_S8\_Las Marías - Villa 15 de Julio NN-252 138.36-156.11 | 232 |

En el Cuadro 10 se presenta el TPDA proyectado al año 2015 de las secciones viales, tomando en cuenta la puesta en operación del tramo La Paz Centro – Malpaisillo. En la columna de tránsito desviado se presenta los volúmenes que se redistribuyen entre las diferentes secciones analizadas. En la última columna se muestra la variación del TPDA, luego de la reasignación del tránsito.

Como puede notarse las secciones que conforman el proyecto La Paz Centro – Malpaisillo reciben 232 vehículos por tránsito desviado en el primer año de operación del proyecto.

Cuadro : Tránsito promedio diario anual año 2015, con la puesta en

operación del tramo La Paz Centro - Malpaisillo

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Corredor** | **Nombre de Sección** | **Tránsito Desviado** | **TPDA (2015)** | **Variación** |
| Actual | Chinandega (Rotonda) - Ranchería NIC-24B 131.90-151.0 | 0 | 4.172 | ↔ |
| Emp. Chichigalpa - Rotonda Agateite (Chinandeg NIC-12A 120.74-131.9 | 0 | 9.747 | ↔ |
| Emp. Izapa - León NIC-12A 066.80-091.5 | -299 | 10.085 | ↓ |
| Emp. Mina El Limon - Ent. Malpaisillo NIC-26 119.24-126.15 | -271 | 1.586 | ↓ |
| Emp. Quezalguaque - Emp. Chichigalpa NIC-12A 105.79-120.7 | 0 | 7.478 | ↓ |
| Emp. Telica - Emp. Mina El Limon NIC-26 102.42-119.24 | -287 | 1.569 | ↓ |
| Emp. Telica - Emp. Quezalguaque NIC-12A 102.42-105.7 | 0 | 7.181 | ↓ |
| La Paz Centro - Emp. Izapa NIC-28 056.61-066.80 | -290 | 6.111 | ↓ |
| León - Emp. Telica (Inter.Nic-26) NIC-12A 091.59-102.4 | -181 | 8.305 | ↓ |
| Ranchería - Villa 15 de Julio NIC-24B 151.08-164.1 | 0 | 2.773 | ↔ |
| Nuevo | ADQ\_S7\_T1\_La Paz Centro-Malpaisillo | 299 | 858 | ↑ |
| NP\_S7\_T2\_La Paz Centro-Malpaisillo | 299 | 845 | ↑ |
| NP\_S8\_Emp. A Las Marías - Las María NN-252 126.29-138.36 | 0 | 232 | ↔ |
| NP\_S8\_Emp. Mina El Limón - Emp. A Las Maria NIC-68 119.24-126.24 | 0 | 232 | ↔ |
| NP\_S8\_Las Marías - Villa 15 de Julio NN-252 138.36-156.11 | 0 | 232 | ↔ |

El segundo evento de desvío de tránsito ocurrirá el primer año de puesta en operación del proyecto Malpaisillo – Villa 15 de Julio, lo cual se estima en el año 2017. Los valores de tránsito por sección vial se presentan en el Cuadro 11.

Cuadro : Tránsito promedio diario anual año 2017, con la puesta en

operación del tramo Malpaisillo – Villa 15 de Julio

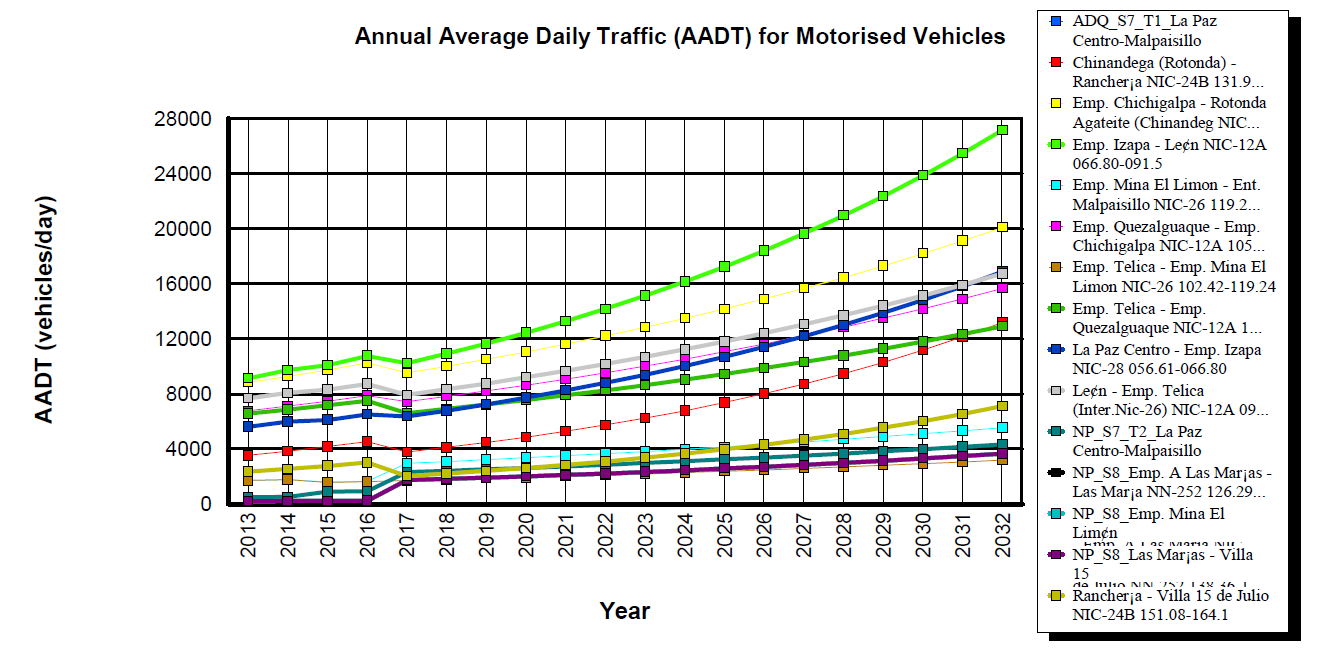
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Corredor** | **Nombre de Sección** | **Tránsito Desviado** | **TPDA (2017)** | **Variación** |
| Actual | Chinandega (Rotonda) - Ranchería NIC-24B 131.90-151.0 | -1.142 | 3.786 | ↓ |
| Emp. Chichigalpa - Rotonda Agateite (Chinandeg NIC-12A 120.74-131.9 | -1.244 | 9.522 | ↓ |
| Emp. Izapa - León NIC-12A 066.80-091.5 | -1.244 | 10.241 | ↓ |
| Emp. Mina El Limon - Ent. Malpaisillo NIC-26 119.24-126.15 | 1.243 | 2.968 | ↑ |
| Emp. Quezalguaque - Emp. Chichigalpa NIC-12A 105.79-120.7 | -829 | 7.431 | ↓ |
| Emp. Telica - Emp. Mina El Limon NIC-26 102.42-119.24 | 0 | 1.706 | ↔ |
| Emp. Telica - Emp. Quezalguaque NIC-12A 102.42-105.7 | -1.244 | 6.607 | ↓ |
| La Paz Centro - Emp. Izapa NIC-28 056.61-066.80 | -602 | 6.358 | ↓ |
| León - Emp. Telica (Inter.Nic-26) NIC-12A 091.59-102.4 | -1.244 | 7.929 | ↓ |
| Ranchería - Villa 15 de Julio NIC-24B 151.08-164.1 | 0 | 3.275 | ↔ |
| Nuevo | ADQ\_S7\_T1\_La Paz Centro-Malpaisillo | 1.243 | 2.223 | ↑ |
| NP\_S7\_T2\_La Paz Centro-Malpaisillo | 1.243 | 2.223 | ↑ |
| NP\_S8\_Emp. A Las Marías - Las María NN-252 126.29-138.36 | 1.458 | 1.714 | ↑ |
| NP\_S8\_Emp. Mina El Limón - Emp. A Las Maria NIC-68 119.24-126.24 | 1.458 | 1.714 | ↑ |
| NP\_S8\_Las Marías - Villa 15 de Julio NN-252 138.36-156.11 | 1.458 | 1.714 | ↑ |

Como puede notarse, la puesta en operación del tramo bajo estudio, genera el desvío de tránsito con volumen relativamente mayor que el primer evento de desvío de tránsito. Esto es debido a que en el 2017 se estaría habilitando completamente el corredor alternativo.

Las variaciones del tránsito debidas al desvío fueron introducidas al modelo, así mismo fue descompuesto el tránsito en cada sección, por cada tipo de vehículo. A cada tramo incluido en el análisis se le especificó la tasa de crecimiento del tránsito de la Estación de Mayor Cobertura representativa. Estos valores no sobrepasaron el 5,1% de crecimiento anual.

En la Ilustración 3, se muestra la gráfica de evolución del tránsito total de cada sección vial analizada. En ella se registran las variaciones de tránsito en los años 2015 y 2017, siendo éste último el año donde la redistribución del tránsito es mucho más trascendental.

Ilustración 3: Variación anual del tránsito en las secciones viales incluidas en el análisis



La metodología de cálculo del tránsito desviado se presenta en el apartado de estudios de tránsito del documento de factibilidad presentado por el MTI.

## 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:

##### Alternativa Base

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nombre de la Actividad** | **Unidad** | **Costo (US$)** | **Criterio de Intervención** |
| Recarga de Grava | M3 | 21,05 | Si espesor de Rodadura < 50mm |
| Nivelación en vía no pavimentada | Km | 5.460 | Dos veces al año |
| Limpieza de drenajes | Km/Año | 114,19 | Una vez al año |
| Limpieza de derecho de vía | Km/Año | 981,49 | Una vez al año |

##### Alternativa de Concreto Hidráulico

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nombre de la Actividad** | **Unidad** | **Costo (US$)** | **Criterio de Intervención** |
| Sellado de juntas | m | 6,11 | Cada 3 años |
| Fresado de losas | M2 | 12,36 | Cada 12 años e IRI > 3,5 |
| Remplazo de losas | M2 | 26,45 | Cada 5 años y Agrietamiento > 15% |
| Limpieza de drenajes | Km/Año | 2,394 | Una vez al año |
| Limpieza de derecho de vía | Km/Año | 1.825,5 | Una vez al año |

##### Alternativa de Concreto Asfáltico

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nombre de la Actividad** | **Unidad** | **Costo (US$)** | **Criterio de Intervención** |
| Refuerzo mezcla asfáltica (40mm) | M2 | 14,01 | Rugosidad ≥ 3,5 y Agrietamiento ≥ 1% é Intervalo ≥ 4 años |
| Bacheo Bituminoso | M2 | 31,32 | No, De baches/km ≥ 20 |
| Sellado de Asfáltico | M2 | 3,88 | Agrietamiento de calzada ≥ 15% é Intervalo ≥ 3 años |
| Limpieza de drenajes | Km/Año | 2.394 | Una vez al año |
| Limpieza de derecho de vía | Km/Año | 1.825,5 | Una vez al año |

#### Costos de la Intervención

##### Costos de Construcción

Los costos de construcción utilizados de inversión fueron elaborados por la División de Preinversión, del MTI los cuales se presentan a continuación:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Alternativa de Intervención** | **Costo Total de Obras (US$)** | **Costo por Km, (US$)** |
| Concreto Hidráulico (24 cm) | 43.680.000 | 1.200.000 |
| Mezcla Asfáltica en Caliente(7,5 cm) | 28.375.339 | 779.542 |

##### Costos de Supervisión

Los costos de supervisión se han definidos en un 7% de los costos de construcción de la alternativa evaluada, Estos se presentan en el cuadro siguiente y tienen su base en los costos reales de supervisión que el Ministerio de Transporte e Infraestructura ha incurrido en los últimos años.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Alternativa de Intervención** | **Costo Total**  **(US$)** | **Costo por Km,**  **(US$)** |
| Concreto Hidráulico (24 cm) | 1.986.274 | 54.568 |
| Mezcla Asfáltica en Caliente(7,5 cm) | 3.057.600 | 84.000 |

##### Costo total del Proyecto

Los costos totales de construcción más supervisión para ejecutar los 37,2 km del proyecto, se presentan en el cuadro siguiente

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Alternativa de Intervención** | **Costo Total**  **(US$)** | **Costo por Km,**  **(US$)** |
| Concreto Hidráulico (24 cm) | 46.737.600 | 1.284.000 |
| Mezcla Asfáltica en Caliente(7,5 cm) | 30.361.612 | 834.110 |

Los costos incluidos en el análisis económico del MTI se consideran adecuados para las alternativas analizadas, y corresponden a precios de mercado vigentes para ese tipo de obras.

### **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.

#### Impactos directos de la intervención

En el Cuadro 12 se presenta la comparativa de los valores característicos en el primer año de operación del proyecto de los diferentes tramos que constituyen los dos corredores.

Se presentan los valores diarios de vehículos que se desviarían en cada tramo, los valores en paréntesis significa la cantidad de vehículos que dejarían de circular por el tramo específico; mientras que los valores positivos representa el tránsito que sería desviado, el cual se sumaría al tránsito normal del tramo específico.

Del mismo análisis se ha deducido que entre el 50 y el 67% del tránsito desviado lo constituyen los vehículos articulados que son utilizados para el transporte de carga regional.

Comparando la longitud total del recorrido en ambos corredores, se establece que el nuevo es 26,6 km más corto que el actual.

Por otro lado, analizando las velocidades promedios de circulación de los vehículos articulados, se establece que la circulación por el nuevo corredor representaría un ahorro en tiempo estimado en 50 minutos.

Cuadro 12: Comparativa de valores característicos de la operación en ambos corredores

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Corredor** | **Sección Vial** | **TPDA Desviado (2017)** | **Velocidad Promedio (2017)** | **Longitud (kms)** | **Tiempo de Recorrido (Minutos)** |
| Actual | Emp, Quezalguaque - Emp, Chichigalpa NIC-12A 105,79-120,7 | (829) | 71,33 | 14,95 | 12,58 |
| La Paz Centro - Emp, Izapa NIC-28 056,61-066,80 | (602) | 52,56 | 10,19 | 11,63 |
| León - Emp, Telica (Inter,Nic-26) NIC-12A 091,59-102,4 | (1.244) | 36,97 | 10,83 | 17,58 |
| Emp, Izapa - León NIC-12A 066,80-091,5 | (1.244) | 51,15 | 24,79 | 29,08 |
| Chinandega (Rotonda) - Ranchería NIC-24B 131,90-151,0 | (1.244) | 74,02 | 19,18 | 15,55 |
| Emp, Telica - Emp, Quezalguaque NIC-12A 102,42-105,7 | (1.244) | 71,72 | 3,37 | 2,82 |
| Emp, Chichigalpa - Rotonda Agateite (Chinandega NIC-12A 120,74-131,9 | (1.244) | 70,48 | 11,16 | 9,50 |
| Ranchería - Villa 15 de Julio NIC-24B 151,08-164,1 | (1.238) | 74,13 | 13,06 | 10,57 |
| **SUMAS** | | | **107,53** | **109,30** |
| Nuevo | NP\_S7\_T2\_La Paz Centro-Malpaisillo | 1.243 | 80,74 | 26,4 | 19,62 |
| NP\_S8\_Emp, A Las Marías - Las María NN-252 126,29-138,36 | 1.458 | 82,66 | 12,07 | 8,76 |
| Emp, Mina El Limon - Ent, Malpaisillo NIC-26 119,24-126,15 | 1.243 | 83,09 | 6,91 | 4,99 |
| NP\_S8\_Emp, Mina El Limón - Emp, A Las Maria NIC-68 119,24-126,24 | 1.458 | 84,07 | 7 | 5,00 |
| NP\_S8\_Las Marías - Villa 15 de Julio NN-252 138,36-156,11 | 1.458 | 82,66 | 17,75 | 12,88 |
| ADQ\_S7\_T1\_La Paz Centro-Malpaisillo | 1.243 | 80,73 | 10,8 | 8,03 |
| **SUMAS** | | | **80,93** | **58,98** |
|  |  |  | ***AHORROS*** | ***26,60*** | ***50,32*** |

#### Impactos adicionales generados por el nuevo corredor logístico

Se estima que la habilitación del nuevo corredor logístico produciría impactos sociales operacionales y económicos significativos al sistema vial representado en la Ilustración 1, los cuales se describen a continuación.

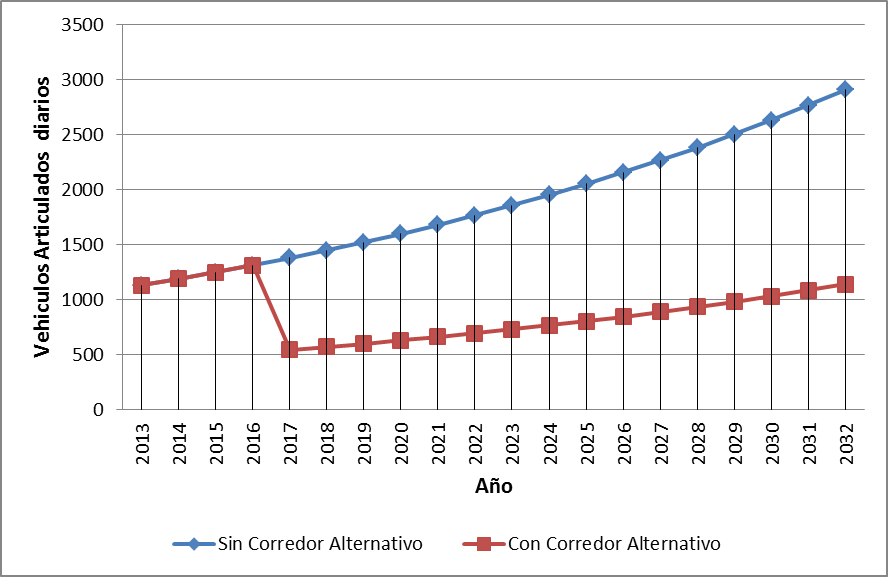
#### Mejora en la seguridad vial del corredor actual

El corredor logístico actual pasa por los centros poblados de Chinandega y León en donde el tránsito de paso inevitablemente debe interactuar con el tránsito local de vehículos y personas. Tomando en cuenta que el tránsito de paso está constituido mayormente por camiones articulados; los que por sus dimensiones ocupan una considerable proporción de la infraestructura vial en esa zona; es innegable que a mayor número de camiones en la vía, la seguridad para los vehículos locales y los peatones se ve menguada.

A nivel de ejemplo, en la Ilustración 4 se muestra la evolución del número de camiones articulados que pasarían diariamente en el tramo Empalme Chichigalpa – Rotonda Aguaitaite, el cual forma parte del corredor actual. Como puede notarse, por efectos del desvío de tránsito al nuevo corredor, a partir del año 2017 se registraría una reducción de más de 800 camiones diarios en la circulación por el tramo. Esta reducción de vehículos pesados en la vía, indudablemente generaría condiciones de circulación más segura para el tránsito local de vehículos y peatonal.

Ilustración 4: Emp. Chichigalpa - Rotonda Agateite

(Número de Vehículos Articulados por día)



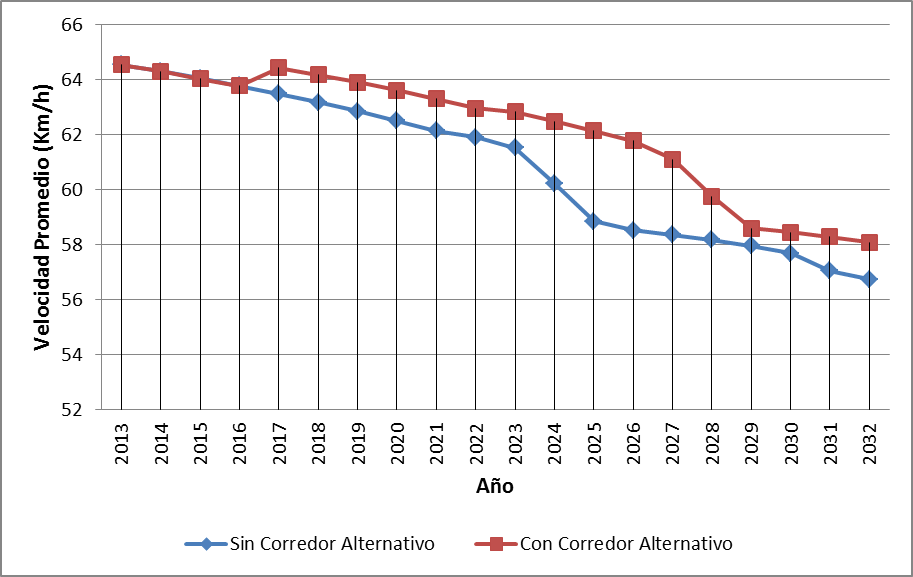
#### Mejora en la circulación del Corredor actual

Como ya fue mencionado en el apartado anterior, el considerable número de vehículos pesados en el corredor actual ocupan una buena proporción de la infraestructura vial disponible; y por consiguiente reducen la capacidad de las vías para garantizar una circulación con un nivel de servicios apropiado, ya que se incrementan los tiempos de demora en colas para sobrepasar. Esta situación se traduce en velocidades promedio de circulación reducidas.

En la Ilustración 5 se muestra la evolución de la velocidad media de los vehículos que circulan en el tramo Empalme Chichigalpa – Rotonda Aguaitaite, el cual forma parte del corredor actual. Como puede notarse, por efectos del desvío de tránsito al nuevo corredor, a partir del año 2017 se registraría un incremento de la velocidad en la vía; debido principalmente a la reducción del número de vehículos pesados. Con ello se deduce que con la construcción del nuevo corredor logístico, se estaría mejorando el nivel de servicio de corredor actual.

Ilustración 5: Emp. Chichigalpa - Rotonda Agateite

(Velocidad media en tramo)



#### Beneficios totales

El flujo de beneficios resultantes de comparar los costos totales de del trasporte calculados para cada una de las alternativas, con los correspondientes a la Alternativa Base se presenta en los Cuadros 13 y 14 respectivamente.

Cuadro 13: Flujo de Beneficios para Alternativa de Concreto Hidráulico (En US$ Millones)

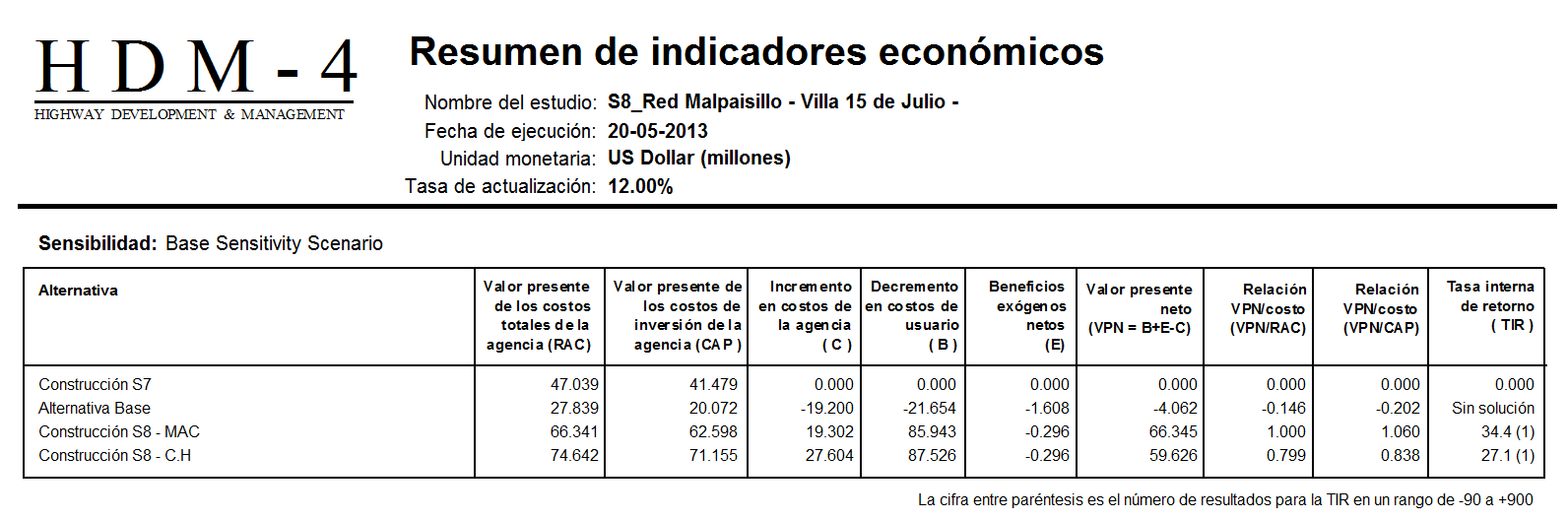


Cuadro 14: Flujo de Beneficios para Alternativa de Mezcla Asfáltica (En US$ Millones)



## Rentabilidad económica

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



En el Cuadro las alternativas corresponden a:

|  |  |
| --- | --- |
| **Denominación de Alternativa** | **Descripción de Alternativa** |
| Alternativa Base | Operación en los tramos de los corredores analizados, tomando en cuenta que no se construyen los tramos La Paz Centro – Malpaisillo y Malpaisillo – Villa 15 de Julio. |
| Construcción S7 | Operación en los tramos de los corredores analizados, tomando en cuenta que únicamente se construyen el tramo La Paz Centro – Malpaisillo (Pavimento Doble Tratamiento Superficial). |
| Construcción S8 -MAC | Operación en los tramos de los corredores analizados, tomando en cuenta que se construyen los tramos La Paz Centro – Malpaisillo (Pavimento Doble Tratamiento Superficial) y Malpaisillo – Villa 15 de Julio (Mezcla Asfáltica en Caliente). |
| Construcción S8 –C.H. | Operación en los tramos de los corredores analizados, tomando en cuenta que se construyen los tramos La Paz Centro – Malpaisillo (Pavimento Doble Tratamiento Superficial) y Malpaisillo – Villa 15 de Julio (Concreto Hidráulico). |

Las alternativas de construcción del tramo Malpaisillo – Villa 15 de Julio se han comparado con la alternativa denominada *Construcción S7*.

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 34,4%, Por su parte, el Valor Actual Neto Económico (VANE) calculado de US$ 66,3 millones.

Al comparar los indicadores económicos obtenidos en el presente análisis, con los contenidos en el documento de factibilidad del proyecto presentado por el MTI (TIRE = 34,5% y VANE = US$ 66,9 millones); se deducen pequeñas variaciones que no son significativas.

## 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 20 % en los Costos de la Agencia Vial en Inversión y Mantenimiento, y un decremento del 20 % en los Beneficios calculados).

La variación de los resultados se presenta en el Cuadro 15.

Cuadro 15: Resultados del Análisis de Sensibilidad.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **(%) de Variación** | **Alternativa Mezcla Asfáltica en Caliente** | | **Alternativa Concreto Hidráulico** | |
| **VANE Mill. ($)** | **TIRE (%)** | **VANE Mill. ($)** | **TIRE (%)** |
| Base | 66,3 | 34,4 | 59,6 | 27,1 |
| + 20 % de Costos | 62,4 | 30,8 | 54,1 | 24,2 |
| - 20 % de Beneficios | 49,1 | 30,0 | 42,1 | 23,6 |
| Combinación de anteriores | 45,3 | 26,8 | 36,6 | 20,9 |

## Valores de Frontera

Para comprobar la robustez de los indicadores de rentabilidad y darle mayor profundidad la verificación de la rentabilidad económica, de forma novedosa, 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 445%.

Cuadro : Análisis de Frontera de Costos Viales



Al revisar las variaciones usuales del costo de obra pública, se puede concluir que es muy poco probable que el proyecto alcance estos costos.

### 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 22%.

Cuadro : Análisis de Frontera de Beneficios COV



## Conclusiones

De las alternativas analizadas, la de Mezcla Asfáltica en Caliente es la que presenta indicadores de rentabilidad más favorables; lo que tiene congruencia con los resultados presentados por el MTI. 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, se concluye que la solución técnica propuesta por el MTI (pavimentación con Mezcla Asfáltica en Caliente) es la más adecuada para el proyecto, por contar con los indicadores de rentabilidad económica más favorables. Siendo por ende, factible el proyecto a ser considerado para financiamiento por parte del Banco.

# Rehabilitación de la Carretera Boaco – Muy Muy

## Ubicación

El tramo de carretera Boaco Muy Muy (89+000 - 113+675), con superficie de rodamiento bituminosa, se ubica en la zona central de Nicaragua, en el departamentos de Boaco. El sub tramo fue construido en dos etapas que van del 89+000 al 97+920 con fecha entre 1993 y 1993 con una reconstrucción en el 2004 y del 97+920 al 113+675 construido entre 1998 y 1999.

Ilustración 6: Mapa de Ubicación de Carretera Boaco – Muy Muy.



Como parte de la carretera (NIC-9), la Clasificación Funcional del MTI la sitúa como una Troncal Secundaria, ya que conecta cabeceras departamentales o centros económicos importantes capaces de atraer viajes de mayor distancia y constituye uno de los accesos hacia el único tramo que conecta el Atlántico del país.

La superficie de rodamiento es a base de capas granulares que soportan una superficie de rodadura la cual, por los niveles de generalizados de fallas se define como totalmente colapsada, por lo que la condición de circulación de la vía es muy mala (Ver Ilustración 7). La vía cuenta con un ancho de calzada que varía entre los 7,3 y 7,8 metros.

Con el nivel de deterioro avanzado de la vía, realizar actividades de mantenimiento de la calzado, tales como bacheo y tratamientos superficiales, no es práctico desde el punto de vista económico, ya que la calzada se encuentra en un proceso de desintegración que no se puede revertir con mantenimiento rutinario.

Ilustración 7: Vista del estado general de la carretera Boaco – Muy Muy

|  |
| --- |
|  |
|  |
|  |

## Beneficiarios

Se estima que la población beneficiada directamente con el proyecto serán los habitantes de los municipios Boaco y Muy Muy ; la cual asciende a 64.560 habitantes[[5]](#footnote-5), de los cuales 31.630 (49%) son hombres y 32.930 (51%) mujeres.

Detalles adicionales de la población beneficiada se pueden encontrar en el estudio de factibilidad presentado por el MTI.

## Supuestos y metodología

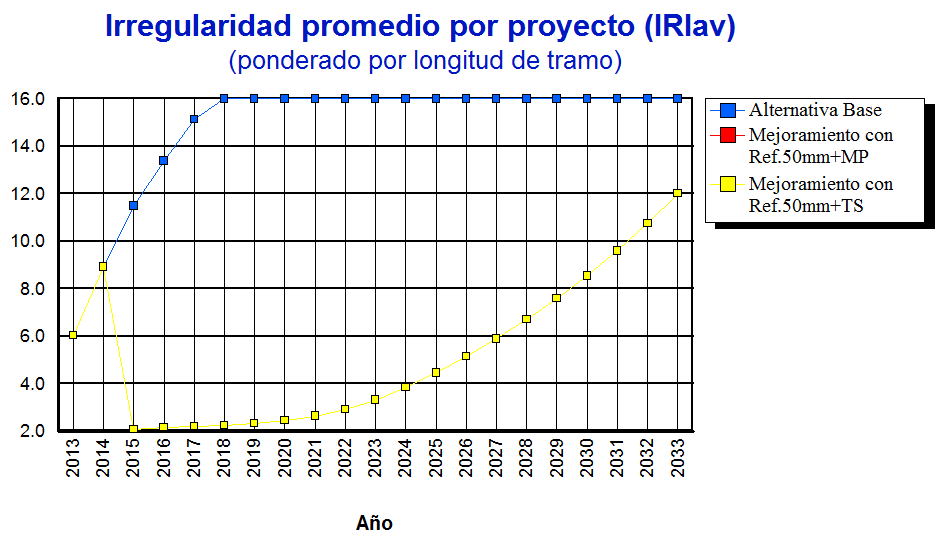
El análisis se basa en la suposición de que una rehabilitación de la vía existente generará condiciones de circulación más favorable, ya que los vehículos desarrollarían velocidades mayores al circular por una superficie más uniforme, En la Ilustración 8 se presenta el promedio de la velocidad anual sobre todo el tramo vial para cada alternativa de analizada con el Modelo HDM-4.

Ilustración 8

|  |
| --- |
| **Velocidades Sn Proyecto** |
| **Velocidades Con Proyecto** |

Por otro lado, se registrará una disminución en los costos de operación vehicular, debido a una reducción en la rugosidad anual de la carretera, En la Ilustración 9 se presenta la variación anual de la rugosidad para cada alternativa analizada.

Ilustración 9



En ese sentido, la metodología utilizada consiste en comparar los costos totales del trasporte (costos de Intervención, costos de Mantenimiento y costos de usuarios) en la vía sujeta a análisis; para las condiciones “Sin Proyecto” y “Con Proyecto”.

De dicha comparación se obtendrá un flujo anual de beneficios, que servirán para la obtención de los indicadores de rentabilidad económica.

### Definición de Alternativas

El proyecto previsto para el tramo bajo estudio consiste en la rehabilitación del pavimento; lo cual involucra utilizar en lo posible la estructura existente, realizando la estabilización localizada de las capas granulares subyacentes, la reconstrucción total del drenaje longitudinal y transversal y la desintegración de la capa de rodadura existente y colocación de una capa de mezcla asfáltica en caliente de 5 cm. También incluye la señalización respectiva.

Las alternativas planteadas se diferencian en la estrategia de conservación que se implementará una vez la vía se encuentra rehabilitada; estas alternativas son:

#### Alternativa 1: Rehabilitación y Micropavimento

Consiste en la rehabilitación del tramo, y luego realizar el mantenimiento rutinario, programando un sello de micropavimento cuando la calzada presente más del 10% de agrietamiento.

#### Alternativa 2: Rehabilitación y Tratamiento Superficial

Consiste en la rehabilitación del tramo, y luego realizar el mantenimiento rutinario, programando un sello con tratamiento asfáltico superficial cuando la calzada presente más del 10% de agrietamiento.

El desempeño de ambas alternativas se comparará con la opción “Sin Proyecto”, la cual involucra realizar las actividades de mantenimiento rutinario.

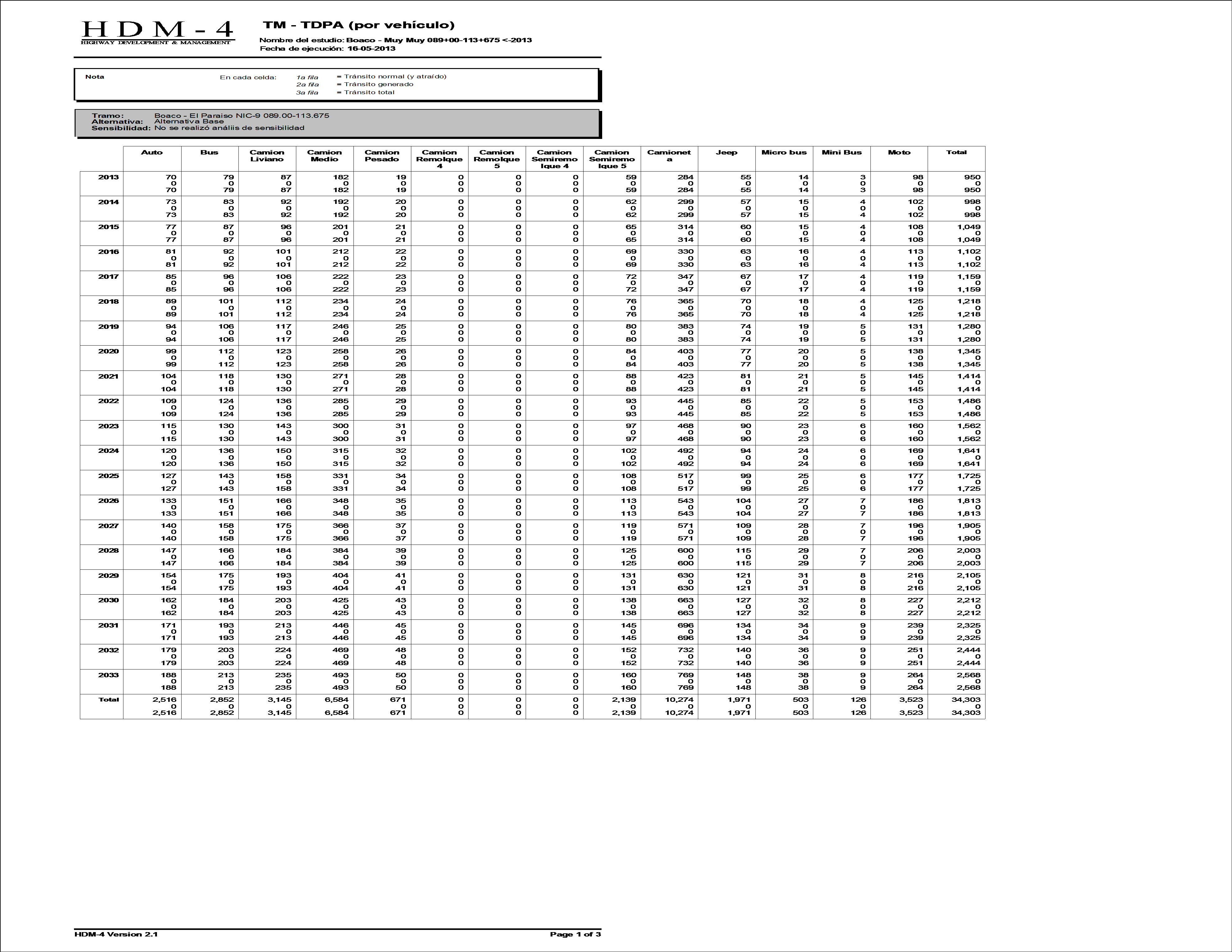
### Proyecciones de crecimiento del tránsito

En el Cuadro 18 se presenta la proyección del tránsito promedio diario en la vía, así como su composición.

Los datos iniciales fueron proyectados de los aforos de tránsito que el MTI realizó en el año 2012. Para su proyección se tomó el valor de 5,1% de incremento anual, el cual pertenece a la estación permanente de conteo No. 700, la cual es representativa de la zona donde se localiza el proyecto.

En el análisis no se consideró la generación de tránsito, debido a que la vía se encuentra pavimentada y el mismo sería despreciable.

Cuadro 18: Tránsito Promedio Diario Anual en la Vía,



## Costos y Beneficios económicos

Los precios económicos utilizados en el análisis han sido establecidos a partir del ajuste de los precios financieros que son afectados en forma general 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:

##### Alternativa Base

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nombre de la Actividad** | **Unidad** | **Costo (US$)** | **Criterio de Intervención** |
| Bacheo Bituminoso | M2 | 31,32 | No, De baches/km ≥ 20 |
| Sellado de Asfáltico | M2 | 3,88 | Agrietamiento de calzada ≥ 15% é Intervalo ≥ 3 años |
| Limpieza de drenajes | Km/Año | 2.394 | Una vez al año |
| Limpieza de derecho de vía | Km/Año | 1.825,5 | Una vez al año |

##### Alternativa Rehabilitación + Micro pavimento

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nombre de la Actividad** | **Unidad** | **Costo (US$)** | **Criterio de Intervención** |
| Refuerzo mezcla asfáltica (50mm) | M2 | 22,60 | Rugosidad ≥ 3,5 y Agrietamiento ≥ 5% é Intervalo ≥ 4 años |
| Micropavimento | M2 | 5,73 | Agrietamiento ≥ 10% é Intervalo ≥ 3 años |
| Bacheo Bituminoso | M2 | 31,32 | No, de baches/km ≥ 20 |
| Sellado de Grietas | m | 2,38 | Grietas Anchas > 5% |
| Limpieza de drenajes | Km/Año | 2.394,0 | Una vez al año |
| Limpieza de derecho de vía | Km/Año | 1.825,5 | Una vez al año |

##### Alternativa Rehabilitación + Tratamiento Superficial

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nombre de la Actividad** | **Unidad** | **Costo (US$)** | **Criterio de Intervención** |
| Refuerzo mezcla asfáltica (50mm) | M2 | 22,60 | Rugosidad ≥ 3,5 y Agrietamiento ≥ 5% é Intervalo ≥ 4 años |
| Tratamiento Superficial | M2 | 3,36 | Agrietamiento ≥ 10% é Intervalo ≥ 3 años |
| Bacheo Bituminoso | M2 | 31,32 | No, de baches/km ≥ 20 |
| Sellado de Grietas | m | 2,38 | Grietas Anchas > 5% |
| Limpieza de drenajes | Km/Año | 2.394,0 | Una vez al año |
| Limpieza de derecho de vía | Km/Año | 1.825,5 | Una vez al año |

#### Costos de la Intervención

##### Costos de Construcción

Los costos de construcción utilizados de inversión fueron elaborados por la División de Preinversión, los cuales se presentan a continuación:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Alternativa de Intervención** | **Costo Total**  **(US$)** | **Costo por Km,**  **(US$)** |
| Rehabilitación total del tramo (Estabilización de capas subyacentes, carpeta asfáltica en caliente de 5 cm, reconstrucción del drenaje y señalización) | 10.846.217,5 | 439.563 |

**Es de hacer notar que estos costos han sido determinados por el MTI, a partir de los ajustes realizados a un estudio de mejoramiento estructural realizado para el FOMAV en el año 2011. Estas modificaciones implican involucran los conceptos de obra siguientes:**

* Sobre excavación localizada en un 15 % de la longitud en un ancho de 3,5 metros por un espesor de 0,50 metros y sustitución por Material Selecto de Préstamo.
* En una longitud de 10.670 metros se retirará la base y será sustituida por Material Triturado con un espesor de 20 centímetros.
* En una longitud de 14.000 metros la superficie existente será reciclada mecánicamente y se mejorará su capacidad de soporte añadiéndole un porcentaje de Cemento Portland en base al Peso Volumétrico del Material.
* Imprimación de la Longitud Total del Tramo con Emulsión asfáltica.
* Colocación de una capa de Rodadura compuesta por Mezcla Asfáltica en Caliente con un espesor de 5 centímetros en los carriles y 3,5 centímetros en los hombros.
* Adicional a la reposición de Estructuras de Drenaje propuestos, se considera la colocación de Muros de Mampostería en sitios que así lo requieran a lo largo del tramo.
* Colocación de 8.500 metros de sistema de sub-drenaje
* Construcción de cunetas tipo II y cunetas bordillos tipo L en los pases de zona urbana del tramo.
* Obras de Mitigación Ambiental para cumplir con los requerimientos Ambientales para este tipo de Obras.

**Siendo necesario aún que estas modificaciones se plasmen detalladamente en los planos y los cuadros de cantidades del proyecto, a fin de contar con una definición más precisa de la localización de las obras para su ejecución.**

**No obstante lo anterior, se considera que el presupuesto establecido por el MTI, cuenta con la suficiencia necesaria para realizar la evaluación económica del proyecto.**

##### ****Costos de Supervisión****

Los costos de supervisión se han definidos en un 7% de los costos de construcción de la alternativa evaluada, Estos se presentan en el cuadro siguiente y tienen su base en los costos reales de supervisión que el Ministerio de Transporte e Infraestructura ha incurrido en los últimos años,

|  |  |
| --- | --- |
| **Alternativa de Intervención** | **Costo por Km,**  **(US$)** |
| Rehabilitación total del tramo (Estabilización de capas subyacentes, carpeta asfáltica en caliente de 5 cm, reconstrucción del drenaje y señalización) | 30.769 |

##### Costo total del Proyecto

Los costos totales de construcción más supervisión para ejecutar el proyecto, se presentan en el cuadro siguiente

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Alternativa de Intervención** | **Costo Total**  **(US$)** | **Costo por Km,**  **(US$)** |
| Rehabilitación total del tramo (Estabilización de capas subyacentes, carpeta asfáltica en caliente de 5 cm, reconstrucción del drenaje y señalización) | 11.605.452 | 470.332 |

### **Beneficio**s

El flujo de beneficios resultantes de comparar los costos totales de del transporte calculados para cada una de las alternativas, con los correspondientes a la Alternativa Base se presenta en los Cuadros 19 y 20 respectivamente.

Cuadro 19: Flujo de Beneficios para Alternativa de Rehabilitación + Micropavimento

(En US$ Millones)



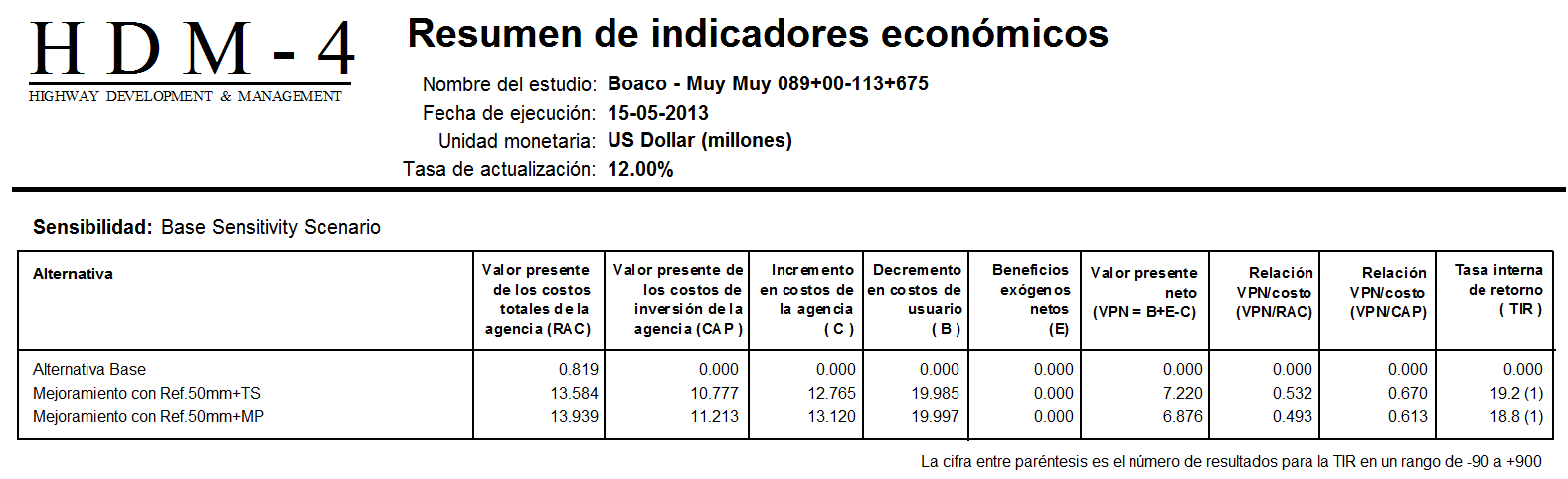
Cuadro 20: Flujo de Beneficios para Alternativa de Rehabilitación + Tratamiento Superficial

(En US$ Millones)



## Rentabilidad económica

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

La Tasa Interna de Retorno Económico calculada más alta, corresponde a la alternativa de Tratamiento Superficial, con valor de 19,2%. Por su parte, el Valor Actual Neto Económico calculado de US$ 7,2 millones.

Al comparar los indicadores económicos obtenidos en el presente análisis, con los contenidos en el documento de factibilidad del proyecto presentado por el MTI, se comprueba que los valores son similares.

## 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 20 % en los Costos de la Agencia Vial en Inversión y Mantenimiento, y un decremento del 20 % en los Beneficios calculados).

La variación de los resultados se presenta en el Cuadro 21.

Cuadro 21: Resultados del Análisis de Sensibilidad,

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **(%) de Variación** | **Alternativa Rahabilitación + Micropavimento** | | **Alternativa Rahabilitación + Tratam. Superficial** | |
| **VANE Mill. ($)** | **TIRE (%)** | **VANE Mill. ($)** | **TIRE (%)** |
| Base | 6,9 | 18,8 | 7,2 | 19,2 |
| + 20 % de Costos | 4,2 | 15,7 | 4,7 | 16,1 |
| - 20 % de Beneficios | 2,9 | 15,1 | 3,2 | 15,4 |
| Combinación de anteriores | 0,2 | 12,3 | 0,7 | 12,6 |

## Valores de Frontera

Para comprobar la robustez de los indicadores de rentabilidad, 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 22; como puede notarse, el Valor Presente Neto de los beneficios se hace cero, cuando los costos viales se incrementan a un 157%.

Cuadro : 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 23; como puede notarse, el Valor Presente Neto de los beneficios se hace cero, cuando los ahorros en COV se reducen a un 64%.

Cuadro : Análisis de Frontera de Beneficios COV



## Conclusiones

De las alternativas analizadas, la de rehabilitación + Tratamiento Superficial es la que presenta indicadores de rentabilidad más favorables; lo que tiene congruencia con los resultados presentados por el MTI.

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, se concluye que la solución técnica propuesta por el MTI (Rehabilitación + Tratamiento Superficial) es la más adecuada para el proyecto, por contar con los indicadores de rentabilidad económica más favorables. Siendo por ende, factible el proyecto a ser considerado para financiamiento por parte del Banco.

# Mantenimiento Carretera Empalme Las Piedrecitas - Nagarote - Empalme Izapa

## Ubicación

El proyecto consiste en el contrato de mantenimiento por estándares del tramo vial “Empalme Las Piedrecitas – Nagarote – Izapa”, la cual forma parte de la carretera NIC 28, ubicado entre las estaciones 6+310 a la 66+800, la que tiene una longitud de 60,49 Km, divididos en nueve tramos (ver Ilustración 10 y Cuadro 24).

Ilustración 10: Ubicación del Proyecto de Mantenimiento “Empalme Las Piedrecitas – Nagarote – Izapa”

|  |
| --- |
|  |

El proyecto se encuentra en relativas buenas condiciones (ver Ilustración 11); sin embargo, dados los importantes volúmenes de tránsito presentes en la vía (6.000 a 22.000 vehículos diarios dependiendo del tramo), es importante que la misma reciba un mantenimiento adecuado.

Consecuentemente FOMAV ha previsto el mantenimiento de la vía a través de un contrato por resultados, con un plazo estimado de 4 años.

En el primer año de ejecución del contrato, se deberán realizar las obras obligatorias (por ejemplo refuerzos estructurales), que son constituidas aquellas actividades que son necesarias para alcanzar los estándares mínimos que se deben cumplir durante el resto del contrato, El periodo estimado para esta primera etapa es de un año.

El FOMAV ha proporcionado información técnica y un análisis económico donde se identifican las obras obligatorias arriba mencionadas.

Ilustración 11: Vista general del estado de la vía

|  |
| --- |
|  |

Para el análisis económico se han cuantificado, en el período de análisis de 10 años, los costos asociados a la operación y mantenimiento del tramo vial considerando las dos alternativas siguientes:

1. No hacer ninguna intervención adicional al mantenimiento rutinario anual que en la actualidad está realizándose en la vía.
2. Mantener la vía por 4 años de acuerdo a lo establecido en el contrato por estándares, y luego y realizar las actividades de mantenimiento vial en los años posteriores, en respuesta a la condición del tramo.

## Beneficiarios

Se estima que la población beneficiada directamente con el proyecto serán los habitantes de los municipios Mateare, Ciudad Sandino, Nagarote y La Paz Centro; la cual asciende 164.279 habitantes[[6]](#footnote-6), de los cuales 80.478 (49%) son hombres y 83.801 (51%) mujeres.

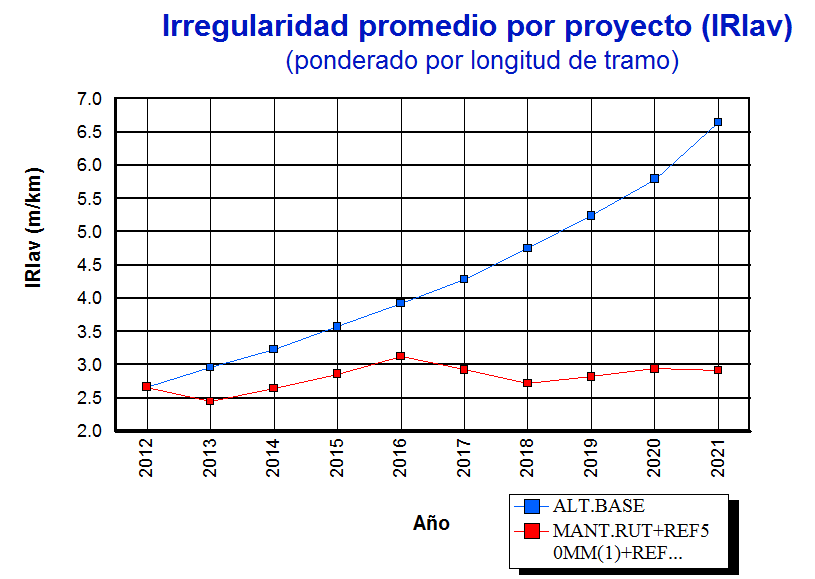
## Supuestos y metodología

El análisis se basa en la suposición de que una mejora en la vía existente generará condiciones de circulación más favorable, ya que los vehículos desarrollarían velocidades mayores al circular por una superficie más uniforme, en comparación a la que se tendría si no se ejecutara el proyecto.

En la Ilustración 12 se muestra la variación de la rugosidad determinada por el modelo HDM-4, a lo largo del período de análisis, Se nota la marcada variación de la condición de circulación entre las dos alternativas evaluadas.

Por otro lado, los costos de mantenimiento de la vía en el período de análisis serán comparativamente menores a los que se requerirían al aplicar una política de mantenimiento convencional.

Ilustración 12



En ese sentido, la metodología utilizada consiste en comparar los costos totales del trasporte (costos de Intervención, costos de Mantenimiento y costos de usuarios) en la vía sujeta a análisis; para las condiciones “Sin Proyecto” y “Con Proyecto”.

De dicha comparación se obtendrá un flujo anual de beneficios, que servirán para la obtención de los indicadores de rentabilidad económica.

### Definición de Alternativas

Para la alternativa “Con Proyecto”, el FOMAV ha planteado que las obras de mejoramiento a ser exigidas en el primer año del contrato de mantenimiento serían las que se detallan, por tramo, en el Cuadro 24.Cuadro 24: Obras de Obligatorias previstas a ser realizadas en el primer año

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Nº | TRAMO | LONGITUD KM | Actividad de Mantenimiento |
| 1a | Las Piedrecitas – Plantel de la Macen | 7,85\* | Refuerzo con mezcla caliente de 50mm |
| 1b | Plantel de la Macen – Las Piedrecitas | 7,85\* | Refuerzo con mezcla caliente de 50mm |
| 2 | Plantel de la Macen – Nagarote | 27,39 | Refuerzo con mezcla caliente de 30mm |
| 3 | Nagarote – Izapa | 25,25 | Refuerzo con mezcla caliente de 30mm |
|  | TOTAL | 68,34 |  |
| (\*) Tramo con 2 carriles por sentido | | | |

Para el análisis, se estableció como alternativa “Sin Proyecto”, el mantenimiento rutinario de la vía que contempla el bacheo, sello de grietas, limpieza de calzada, drenaje y derecho de vía y reparación de hombros,

### Transito normal y generado

En el Cuadro 25, se presentan los volúmenes de TPDA en las secciones que se subdivide la carretera.

Cuadro 25: Tránsito Promedio Diario Anual en la Vía,

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tramo** | **Longitud (km)** | **TPDA** |
| Las Piedrecitas - Cuesta Héroes y Mártires | 4,53 | 21.831 |
| Cuesta Héroes y Mártires - Ent, Ciudad Sandino | 1,64 | 18.237 |
| Ent, Ciudad Sandino - Emp, Xiloá | 0,70 | 8.353 |
| Emp, Xiloá - Los Brasiles | 3,25 | 6.892 |
| Los Brasiles - San Miguel (Lim, Dptal, Managua/León) | 15,30 | 5.553 |
| Lim, Dptal, Managua/León - Nagarote | 9,82 | 5.638 |
| Nagarote - Lim, Mcpal, Nagarote/La Paz Centro | 7,22 | 6.178 |
| Lim, Mcpal, Nagarote/La Paz Centro - Ent, Principal a La Paz Centro | 7,84 | 6.178 |
| Ent, Principal a La Paz Centro - Emp, Izapa | 10,19 | 5.638 |

Dado que las intervenciones consisten básicamente en actividades de mantenimiento, para el análisis no se considera que se generará tráfico adicional al normal.

#### Proyecciones de crecimiento del tránsito

En el Cuadro 26 se presentan las tasas de crecimiento del tipo de vehículo utilizadas en el documento de factibilidad presentado por el FOMAV.

Cuadro 26: Tasas de crecimiento del tránsito

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| NOMBRE DEL TRAMO | % Veh, Liviano de Pasajero | % Veh, Pesado de Pasajero | % Veh, Carga |
| Las Piedrecitas - Cuesta Héroes y Mártires | 9,7 | 1,9 | 7,4 |
| Cuesta Héroes y Mártires - Ent, a Ciudad Sandino | 3,8 | 5,1 | 3,8 |
| Ent, a Ciudad Sandino - Los Brasiles | 1,9 | 3,1 | 2,5 |
| Los Brasiles - Nagarote | 5,4 | 2,1 | 5,9 |
| Nagarote - La Paz Centro | 3,7 | 2,2 | 5,7 |
| La Paz Centro - Emp, Izapa | 3,2 | 5,0 | 8,9 |

No obstante, este consultor ha considerado adecuado utilizar una tasa de crecimiento del 5% uniforme en todos los tramos, Esta tasa es inferior a las recomendadas en el Estudio Centroamericano de Transporte, las cuales se recomiendan en 5,5% para vehículos de pasajeros y 5% para vehículos de carga.

Debido a que el proyecto corresponde a un mantenimiento periódico de la vía, no se analizó el tránsito generado derivado de las mejoras, por considerarse insignificante.

## Costos y Beneficios económicos

Los precios económicos utilizados en el análisis han sido establecidos a partir del ajuste de los precios financieros que son afectados en forma general los impuestos, aranceles y márgenes de comercialización en los principales elementos de costos,

### Costos de la Alternativa “Sin Proyecto”

Los costos de las actividades de mantenimiento utilizados en el análisis de la alternativa “Sin Proyecto”; así como sus criterios de intervención, se presentan en el Cuadro 27.

Cuadro 27: Costos de la Alternativa “Sin Proyecto” (En US$ Millones)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nombre de la Actividad** | **Unidad** | **Costo (US$)** | **Criterio de Intervención** |
| Bacheo Bituminoso | M2 | 31,3 | No, De baches/km ≥ 10 |
| Sellado de Grietas | m | 2,2 | Grietas Anchas > 10% |
| Limpieza de drenajes | Km/Año | 2.394 | Una vez al año |
| Limpieza de derecho de vía | Km/Año | 1.825,5 | Una vez al año |
| Señalización | Km/Año | 4.405 | Una vez al año |

### Flujo de Costos Totales de la Alternativa “Con Proyecto”

Para la opción “Con Proyecto”, el costo total de la intervención ha sido integrado el monto del contrato de mantenimiento, el monto estimado para la supervisión, y los montos anuales requeridos para el mantenimiento de la vía, En el Cuadro 28 se presentan la programación y desglose de costos por concepto,.

Cuadro 28: Desglose del costo por concepto

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ITEM** | **CONCEPTO** | **Año 1** | **Año 2** | **Año 3** | **Año 4** | **TOTAL** |
| A | Obras de pavimentos | 9934.090 | 521.874 | 521.874 | 1479.608 | 12457.446 |
| B | Obras de elem. seg. vial | 703.780 | 74.478 | 208.536 | 74.478 | 1061.272 |
| C | Obras de drenaje y derecho de vía | 245.765 | 183.052 | 183.052 | 183.052 | 794.920 |
| D | Total Construcción | 10883.634 | 779.404 | 913.462 | 1737.138 | 14313.637 |
| E | Supervisión | 250.489 | 250.489 | 250.489 | 250.489 | 1001.955 |
| **TOTAL** |  | **11134.123** | **1029.892** | **1163.950** | **1987.627** | **15315.592** |

### **Beneficio**s

El flujo de beneficios resultantes de comparar los costos totales de del trasporte calculados para la Alternativa “Con Proyecto”, con los correspondientes a la Alternativa “Sin Proyecto” se presenta en el

**Cuadro 29**.

**Cuadro 29: Flujo de Beneficios**



## Rentabilidad económica

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



La Tasa Interna de Retorno Económico calculada es del 33,9%, Por su parte, el Valor Actual Neto Económico calculado de US$ 16,4 millones.

Dado que en el documento de factibilidad presentado por el FOMAV, se presentan indicadores económicos por cada sub tramo analizado; y con el propósito de comparar los resultados obtenidos en el presente estudio, se ha procedido a obtener una tasa de retorno ponderada a partir de los datos de valor actual neto y tasa interna de retorno reportados para cada tramo, los cuales se presentan en el cuadro siguiente:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Sección** | **VANE (US$ Millones)** | **TIRE** | **VANE \* TIRE** |
| TRAMO 1A. LAS PIEDRECITAS - SACOS MACEN | 2,0 | 32,1% | 0,6 |
| TRAMO 1B. LAS PIEDRECITAS - SACOS MACEN | 0,2 | 16,0% | 0,0 |
| TRAMO 2. SACOS MACEN - NAGAROTE | 10,6 | 44,5% | 4,7 |
| TRAMO 3. NAGAROTE - EMP. IZAPA | 5,8 | 31,9% | 1,9 |
| **Sumas** | **18,6** |  | **7,2** |
|  |  |  |  |
|  | **TIRE Ponderada** | | **38,9%** |

Del análisis anterior se deduce que los valores calculados por FOMAV, son ligeramente superiores a los calculados con el presente estudio.

## 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 20 % en los Costos de la Agencia Vial en Inversión y Mantenimiento, y un decremento del 20 % en los Beneficios calculados).

La variación de los resultados se presenta en el Cuadro 30.

Cuadro : Resultados del Análisis de Sensibilidad,

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **(%) de Variación** | **Combinación de Intervenciones** | |
| **VANE (US$ Millones)** | **TIRE (%)** |
| Base | 16,4 | 33,9 |
| + 20 % de Costos | 14,0 | 28,7 |
| - 20 % de Beneficios | 10,7 | 27,5 |
| Combinación de anteriores | 8,3 | 22,8 |

## Valores de Frontera

Para comprobar la robustez de los indicadores de rentabilidad, 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 22; como puede notarse, el Valor Presente Neto de los beneficios se hace cero, cuando los costos viales se incrementan en un 236,8%.

Cuadro 31: Análisis de Frontera de Costos Viales



Al revisar las variaciones usuales del costo de obra pública, se puede concluir que es muy poco probable que el proyecto alcance estos costos.

### 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 23; como puede notarse, el Valor Presente Neto de los beneficios se hace cero, cuando los ahorros en COV se reducen a un 42,2%.

Cuadro : Análisis de Frontera de Beneficios COV



## Conclusiones

La intervención de Mantenimiento por estándares propuesta por el FOMAV, presenta indicadores de rentabilidad más favorables; lo que tiene congruencia con los resultados presentados por el Ejecutor.

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, se concluye que la solución técnica propuesta por el FOMAV para cada una de las secciones viales del proyecto son las más adecuada; por contar con los indicadores de rentabilidad económica más favorables. Siendo por ende, factible 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)

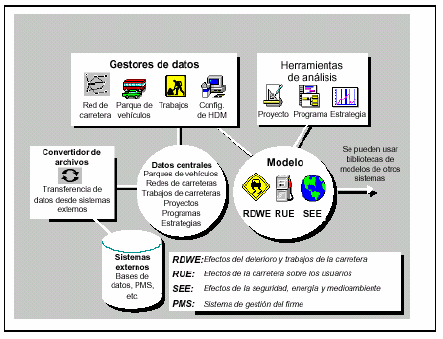


Figura 1 Estructura del HDM-4

## 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.

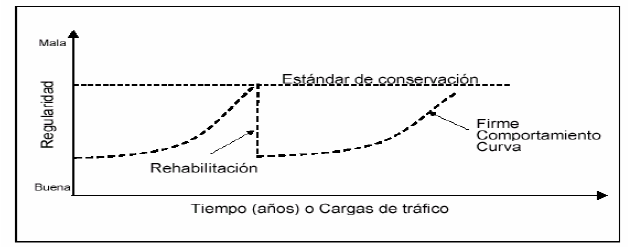


Figura 2 Concepto del Análisis del ciclo de Vida en el modelo HDM-4

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,

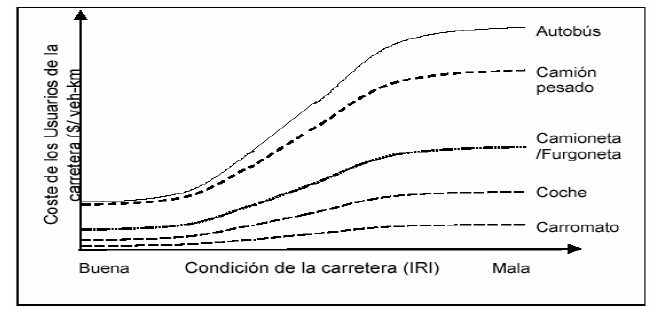


Figura 3 Efecto del estado de la carretera en los costos de operación del vehículo

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. El mejoramiento de una vía se define como la realización de obras con las que, entre otras características, se cambia de una superficie de rodamiento de tierra o material granular a una superficie revestida (pavimento asfáltico, pavimento rígido o pavimento articulado). Por su parte, 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. [↑](#footnote-ref-1)
2. Según datos del Censo 2005. [↑](#footnote-ref-2)
3. DFID TRL, Overseas Road Note 5, 2005 [↑](#footnote-ref-3)
4. 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 MTI en el apartado del estudio de tránsito del documento de factibilidad presentado al Banco. [↑](#footnote-ref-4)
5. Según datos del Censo 2005. [↑](#footnote-ref-5)
6. Según datos del Censo 2005. [↑](#footnote-ref-6)