

Evaluación económica del proyecto túnel y accesos en sierra de Marquesado, San Juan (Argentina)

Economic Assessment of Tunnel and Access Project in Sierra de Marquesado, San Juan – Argentina

Dr. Ing. Marcelo Gastón Bustos¹, Msc. Ing. Pablo Girardi Mancini²

¹orcid.org/0000-0001-9412-8256. UNSJ, San Juan, Argentina, mbustos@eicam.unsj.edu.ar

²orcid.org/0000-0001-7006-2715. UNSJ, San Juan, Argentina, pgirardi@eicam.unsj.edu.ar

Fecha de recepción: 14/08/2020 - Fecha de aceptación del artículo: 14/09/2020



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: [10.18041/1794-4953/avances.2.6627](https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6627)

Cómo citar: Bustos, M., & Girardi Mancini, P. (2020). Evaluación Económica Proyecto Túnel y Accesos en Sierra de Marquesado, San Juan – Argentina. *Avances: Investigación En Ingeniería*, 17(2). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6627>

Resumen

En este artículo se desarrolla la metodología aplicada para la evaluación económica del proyecto de un túnel que atraviesa la sierra de Marquesado, al oeste de la ciudad de San Juan (Argentina). A través de este túnel y sus accesos, se produciría una vinculación más rápida y directa con los principales centros poblados situados en ambos lados de la sierra. El túnel serviría, asimismo, para dar paso al futuro acueducto Gran Tulum y a un futuro gasoducto destinado a llevar gas natural, acortando sensiblemente su trazado. Se han planteado hipótesis para cuantificar los beneficios y costos asociados al proyecto del túnel y sus accesos, considerando las alternativas de pavimento asfáltico y pavimento de hormigón. Se cuantificaron los costos de operación vehicular y tiempos de viaje utilizando el programa HDM-4 y, finalmente, se analizó la sensibilidad de algunos indicadores respecto a escenarios más desfavorables, donde se incrementan los costos y se reducen los beneficios. Los resultados muestran claramente la conveniencia técnica y económica de la construcción de este túnel, que debería contribuir de forma significativa al desarrollo socioeconómico de la región.

Palabras clave: evaluación económica, HDM-4, análisis beneficio-costos, túneles viales.

Abstract

This paper describes the methodology applied for the economic assessment of a projected tunnel that will cross the range of “Sierra de Marquesado”, in the west of the city of San Juan, Argentina. Through this tunnel and its accesses, there would be a faster and more direct connection between the main populated centers located on both sides of the mountain range. The tunnel would also allow the settle of the Gran Tulum aqueduct, as well as a pipeline intended to carry natural gas, shortening the layout of both. A number of hypotheses have been raised to quantify the benefits and costs associated with the tunnel project and its accesses, considering the alternatives of asphalt and concrete pavements. Vehicle operating costs and travel times were quantified using HDM-4, and an analysis of economic indicators sensitivity was finally carried out, in regards to differentiating scenarios with increased costs and reduced benefits. Results clearly show the technical and economic convenience of the construction of this tunnel, which should contribute significantly to the socio-economic development of the region.

Keywords: Economic assessment, HDM-4, Cost-benefit analysis, Road tunnels.

1. Aspectos generales

El proyecto se identifica como “Camino de conexión RP 14 (Depto. Rivadavia) a RP 38 (dpto. Zonda) a través de la sierra de Marquesado”. Se trata de la construcción de un túnel vial de 1 km de longitud a través de la sierra de Marquesado y de los caminos de acceso.

Este proyecto tiene el objetivo principal de proveer una conexión vial más directa entre el Gran San Juan y las áreas pobladas de los departamentos de Zonda y Ullum. Se prevé reducir costos vehiculares del tránsito y tiempos de viaje de los usuarios y minimizar la ocurrencia de accidentes graves en el entorno del proyecto.

Asimismo, permitirá alojar parte del trazado de un acueducto hacia la ciudad de San Juan y de un gasoducto hacia las áreas pobladas de Zonda y Ullum, con la consiguiente disminución de longitudes de tuberías, y reducir costos constructivos y de mantenimiento, al hacerlos pasar por el túnel que se construirá como parte del proyecto.

Se trata de un proyecto compuesto por dos partes: un túnel a través de la sierra de Marquesado y dos caminos de acceso al túnel, uno que conecta el túnel con la ruta provincial (RP) 14, en el departamento Rivadavia, y otro que lo conecta con la RP 38, en el departamento Zonda (figura 1).



Figura 1. Trazado previsto para la conexión a través del túnel por la sierra de Marquesado

El túnel tiene un costo presupuestado de 30.696.459 dólares y los caminos de acceso, considerando ambos lados del túnel, 12.057.349 dólares, en el momento de la evaluación económica.

Este túnel se ubicaría a unos 15 km al oeste de la capital provincial. El tramo proyectado permitiría, asimismo, una conexión más rápida y directa con el circuito de los perilagos de los diques sobre el río San Juan, y a futuro con el departamento Calingasta, por la Ruta Provincial 12.

Se trata de una obra de infraestructura que afectará positivamente a una amplia zona dentro de la provincia de San Juan (figura 2). Se estima que la población directamente beneficiada está en el orden de las 200.000 personas.



Figura 2. Alcance geográfico del impacto global del proyecto bajo estudio

2. Descripción técnica del proyecto seleccionado

El proyecto desarrollado considera un túnel que atraviesa la sierra de Marquesado y caminos de acceso tanto hacia el sudeste (hasta conectar con la RP 14) como hacia el noroeste (hasta conectar con la RP 38).

Los caminos de acceso poseen una calzada única con dos carriles de circulación, uno para cada sentido, diseñados para una velocidad de 70 km/h. El ancho de la calzada es de 6,70 m con banquetas pavimentadas de 2,00 m de ancho y una pendiente longitudinal máxima del orden del 4%. El perfil tipo de la sección transversal de los caminos de acceso se muestra en la figura 3.

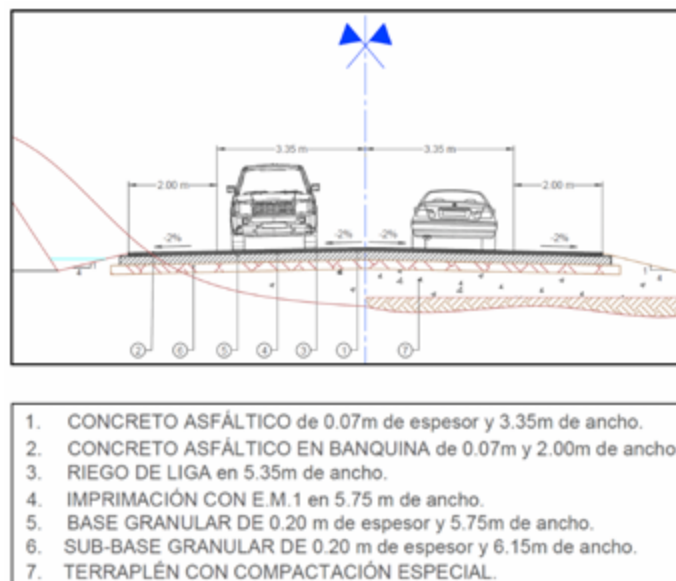


Figura 3. Perfil tipo de la sección transversal proyectada en los caminos de acceso al túnel

En cuanto al túnel, cuenta con una longitud de proyecto aproximada de 1000 m. Su trazado es rectilíneo.

La sección transversal es de tipo herradura, de aproximadamente 85 m² de área total. La figura 4 esquematiza las previsiones geométricas adoptadas en esta fase intermedia del diseño. Alberga una calzada para tránsito bidireccional con 2 carriles de 3,75 m ancho cada uno y aceras laterales de ancho 1,45 m. El acueducto se ubicaría bajo la calzada, en el centro.

El túnel se excavará con el método tradicional de perforación y voladura (drill & blast), dada su relativamente corta extensión, y la calidad intermedia a buena de los macizos rocosos que se van a atravesar. Se ha previsto un sostenimiento externo, en contacto con la roca, de espesor variable que incluye hormigón lanzado, pernos de anclaje y eventuales mallas de armadura distribuida. Hacia el interior, un recubrimiento de hormigón simple de 30 cm de espesor, encofrado y colado in situ.

El pavimento proyectado es de concreto asfáltico de 7 cm de espesor sobre capas de base y subbase de material granular. En la evaluación económica se ha planteado la alternativa de construir un pavimento de hormigón de cemento hidráulico para la totalidad de la traza proyectada.

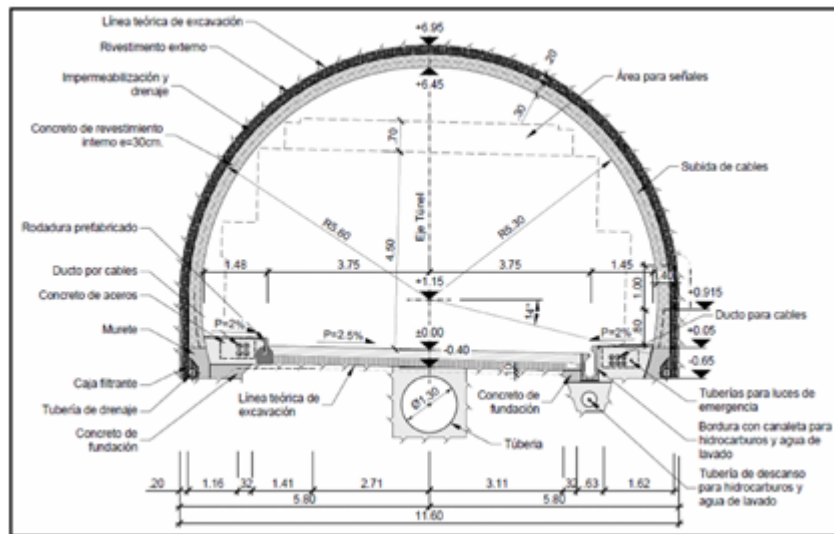


Figura 4. Sección transversal del túnel proyectado

A tal efecto, se diseñó un pavimento de hormigón simple con losas de 24 cm de espesor, juntas transversales cada 4,5 m y pasadores de 32 mm de diámetro, sobre base granular de 15 cm de espesor (figura 5).

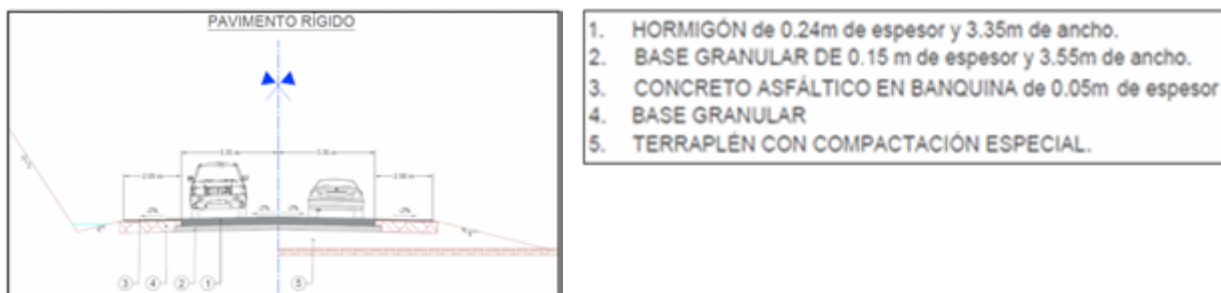


Figura 5. Sección transversal con pavimento de hormigón

3. Evaluación socioeconómica del proyecto

Se estudió la rentabilidad económica del proyecto del túnel a través de la sierra de Marquesado y sus correspondientes conexiones viales con la red existente de rutas provinciales en el entorno del túnel, desde una perspectiva social.

3.1. Criterio de evaluación utilizado

Para determinar la rentabilidad social del proyecto bajo estudio, se plantea un análisis convencional de beneficio-costos respecto a la situación sin proyecto. En el análisis se consideran los costos de construcción del nuevo proyecto y sus correspondientes estrategias de conservación y operación, y los costos de mantenimiento de la infraestructura vial existente en ambos escenarios, sin proyecto y con este. De igual modo, se tienen en cuenta los costos de operación vehicular y tiempos de viaje en ambos escenarios.

Se utiliza el programa HDM-4, que permite estimar los costos de operación de vehículos y asignar valor a los tiempos de viaje, dentro del periodo de análisis que se adopte.

Finalmente, se consideran beneficios adicionales en el escenario con proyecto, como reducciones de costos de instalación y posterior mantenimiento de tuberías de gasoductos y oleoductos, que bajo el escenario sin proyecto deberían instalarse siguiendo el camino actual por la quebrada de Zonda, teniendo en cuenta también los menores costos por reducción de accidentes de tránsito.

Se toma un intervalo de análisis de 20 años, porque la construcción del túnel y de los caminos de acceso se lleva a cabo en los dos primeros años del periodo de análisis y queda habilitado para el tránsito desde el tercer año.

Se ha adoptado una tasa de descuento del 12% anual para determinar los costos y los beneficios actualizados a valor presente a lo largo del periodo de análisis, siguiendo el criterio habitualmente utilizado en las evaluaciones económicas de proyectos de infraestructura vial en Argentina.

En una evaluación socioeconómica, los costos deben tasarse en su valor social o precio de cuenta, que elimina la incidencia de impuestos, subsidios, aranceles, costos de oportunidad, etc., respecto al valor de mercado. Para los insumos asociados a los costos de operación vehicular, se utilizan los valores indicados por el formulario COSTOP, elaborado por la Dirección Nacional de Vialidad, en su versión de marzo de 2018.

Respecto a los costos de construcción, conservación, mantenimiento y operación, se consideraron precios de mercado multiplicados por el coeficiente 0,707, que es un valor habitualmente utilizado en Argentina para la evaluación técnica económica de proyectos viales.

Se han incorporado los costos de mitigación del impacto ambiental generado por la ejecución del proyecto, como parte del presupuesto de obra y del mantenimiento de la infraestructura, una vez que haya sido construida.

3.2. Supuestos y criterios utilizados para estimar beneficios y costos

A continuación, se desarrollan y explicitan los principales criterios e hipótesis considerados dentro del estudio económico.

3.2.1. Red vial afectada por el proyecto

La derivación de tránsito prevista una vez que el túnel quede habilitado afecta de forma directa varios tramos cercanos, pertenecientes a los actuales trazados de las rutas provinciales 12, 14, 60 y 38, que se han individualizado y tratado por separado como tramos homogéneos dentro del análisis con el programa HDM-4.

La figura 6 es una imagen satelital del área con los tramos afectados, con diferentes colores. Asimismo, se ha incorporado en dicha figura el trazado proyectado para el túnel por sierra de Marquesado y sus respectivos accesos.



Figura 6. Vista de los tramos afectados por el proyecto, con diferentes colores

3.2.2. Principales consideraciones del estudio de tránsito

El estudio de tránsito se abordó basándose en la información disponible en el momento de llevar a cabo el estudio y teniendo en cuenta las siguientes hipótesis:

- Se dispone de información censal del tránsito actual en la RP 12.
- Se asume que un alto porcentaje de este tránsito utilizará el túnel una vez esté habilitado.
- A priori se estima que en el orden de un 80 % del tránsito actual que pasa por la RP 12 en las cercanías de la villa Basilio Nievas, se desplazará hacia el túnel que se va a construir.
- Se considera, además:
 - a) El tránsito derivado desde quebrada de Zonda.
 - b) El tránsito que se deriva desde la RP 60, en Ullum.
 - c) El tránsito que se incorporaría cuando se reconstruya la RP 12 hacia Calingasta.

Según las tres fuentes precedentes, el tránsito por el túnel tendría la proyección que se muestra en la tabla 1. Se adopta en todos los casos una tasa de crecimiento anual del 3%, homogénea para todos los vehículos, que se considera suficientemente representativa de la evolución histórica promedio de los volúmenes de tránsito a lo largo de las últimas décadas, tanto en San Juan como en Argentina.

Tabla 1. Proyección del tránsito estimada para el túnel por sierra de Marquesado, a lo largo del periodo de análisis

| Año | Autos | Ctas. | Bus | Cam. S/Ac | Cam. artic. | Total |
|------|-------|-------|-----|-----------|-------------|-------|
| 2019 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2020 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2021 | 2115 | 994 | 74 | 148 | 154 | 3485 |
| 2022 | 2178 | 1024 | 76 | 153 | 158 | 3590 |
| 2023 | 2244 | 1055 | 79 | 157 | 163 | 3697 |
| 2024 | 2311 | 1086 | 81 | 162 | 168 | 3808 |
| 2025 | 2380 | 1119 | 84 | 167 | 173 | 3923 |
| 2026 | 2452 | 1152 | 86 | 172 | 178 | 4040 |
| 2027 | 2525 | 1187 | 89 | 177 | 183 | 4161 |
| 2028 | 2943 | 1404 | 107 | 251 | 259 | 4963 |
| 2029 | 3031 | 1446 | 110 | 258 | 267 | 5112 |
| 2030 | 3122 | 1489 | 114 | 266 | 275 | 5266 |
| 2031 | 3216 | 1534 | 117 | 274 | 283 | 5424 |
| 2032 | 3312 | 1580 | 121 | 282 | 291 | 5586 |
| 2033 | 3412 | 1627 | 124 | 290 | 300 | 5754 |
| 2034 | 3514 | 1676 | 128 | 299 | 309 | 5926 |
| 2035 | 3620 | 1726 | 132 | 308 | 318 | 6104 |
| 2036 | 3728 | 1778 | 136 | 317 | 328 | 6287 |
| 2037 | 3840 | 1831 | 140 | 327 | 338 | 6476 |
| 2038 | 3955 | 1886 | 144 | 337 | 348 | 6670 |

Dentro de estos valores se ha tenido en cuenta la generación de tránsito asociada al turismo, sobre todo en el área de la quebrada de Zonda, donde se prevé ejecutar importantes inversiones para generar un polo de atractivo turístico de gran envergadura.

3.2.3. Proyección de tránsito en los tramos afectados por el proyecto

Para la evaluación económica, en los tramos presentados en la figura 6, se han asumido valores de tránsito existente a partir de datos censales provistos por la Dirección Provincial de Vialidad de San Juan, proyectados con una tasa del 3% anual.

Como aspectos adicionales, cabe mencionar que, pese a no disponer de datos oficiales sobre la presencia de ciclistas en los tramos de la red vial existente, se ha tenido en cuenta un número variable de entre 100 y 400 ciclistas diarios, dependiendo del tramo que se analice.

3.2.4. Costos de construcción de los nuevos tramos

El monto de la inversión prevista se desglosa de la siguiente manera:

- El túnel, con un costo presupuestado de 30.696.459 dólares.
- Los caminos de acceso, considerando ambos lados del túnel, con un costo presupuestado de 12.057.349 dólares, materializando la conexión entre la RP 14 y la rotonda sobre la RP 38.

Todo lo anterior totaliza un valor de 42.753.808 dólares, como monto final previsto para la inversión. Este monto corresponde al precio de mercado, es decir, con impuestos ya incluidos.

3.2.5. Conservación vial de los caminos de la red

Para la conservación rutinaria y eventual rehabilitación tanto de la red vial existente como de los nuevos tramos proyectados, dentro de la evaluación planteada se han previsto los siguientes estándares de conservación y tareas:

- a) Estándares para pavimentos asfálticos:
 - Mantenimiento rutinario misceláneo.
 - Bacheo consistente en reparación del 100% de los baches que aparezcan.
 - Refuerzo estructural de concreto asfáltico de 5 cm de espesor, con IRI > 4 m/km.

- b) Estándares para pavimentos de hormigón:
 - Mantenimiento rutinario misceláneo, ídem a pavimentos asfálticos.
 - Resellado de juntas transversales cada 10 años.
 - Cepillado con discos de diamante con IRI > 3 m/km o escalonamiento de juntas transversales superior a 3 mm.
 - Reemplazo de losas cuando se supere el 30% de losas agrietadas, reponiendo el 40% de losas fisuradas más deterioradas.

3.2.6. Costos de usuarios de las rutas (operación vehicular y tiempos de viaje)

El programa HDM-4 posee la capacidad de estimar los costos de los usuarios de las carreteras en función de parámetros como la longitud del tramo, las pendientes longitudinales, la curvatura horizontal, la cantidad de subidas y bajadas por kilómetro, el estado superficial de la calzada, entre otros aspectos.

El HDM-4 permite modelar los consumos de combustible, lubricantes y neumáticos; la depreciación e intereses por el uso del vehículo; los costos por repuestos y horas de taller; los salarios de los choferes de ómnibus y camiones; los gastos generales, y también los costos correspondientes a las demoras por tiempos de viaje de usuarios que viajan por razones de trabajo o por otras razones.

Estos costos se calcularon a partir de los valores indicados en el formulario COSTOP de la Dirección Nacional de Vialidad de Argentina, actualizados y reajustados a valores vigentes en la provincia de San Juan a la fecha de elaboración del estudio.

3.2.7. Accidentes (siniestros viales)

De los accidentes que se producen en la zona afectada por el proyecto, gran parte está relacionada con la interacción entre vehículos y ciclistas.

La tabla 2 especifica las cantidades anuales de accidentes con fallecidos y con heridos, de acuerdo con los datos provistos por las autoridades provinciales. Con base en estos, anualmente hay un promedio de 1,33 accidentes fatales y de 6,5 accidentes con heridos.

Tabla 2. Datos de siniestros viales en la RP 12 quebrada de Zonda entre 2013 y 2018

| Año | Siniestros con heridos | Siniestros con fallecidos |
|------|------------------------|---------------------------|
| 2013 | 9 | 3 |
| 2014 | 2 | 2 |
| 2015 | 4 | 0 |
| 2016 | 9 | 2 |
| 2017 | 4 | 1 |
| 2018 | 11 | 0 |

Fuente: Ministerio de Gobierno de la provincia de San Juan.

El programa HDM-4 predice la cantidad de accidentes en función del tránsito y de la longitud de cada tramo y de las tasas que se le hayan asignado. El HDM-4 requiere que la tasa de accidentes esté expresada en cantidad de accidentes por cada 100 millones de vehículos por kilómetro; por lo tanto, traduciendo a esta unidad los datos provistos en la tabla 2, pueden establecerse los siguientes valores de tasas, dependiendo del tipo de accidente:

- Fatales: 9,8.
- Con heridos: 47,8.
- Solo daños mecánicos: 73,6.

Se estima que la habilitación del túnel, al liberar de tránsito pesado la ruta por la quebrada de Zonda y el entorno de villa Basilio Nievas y al disminuir significativamente el volumen de vehículos livianos a causa de la derivación hacia el túnel, reduciría en al menos un 50% la tasa de accidentes, asumiendo que será homogénea para los distintos tipos. En cuanto a la valoración de los costos asociados, existen metodologías que permiten cuantificar de forma aproximada el valor estadístico de la vida humana, o bien en función de la disposición a pagar de los usuarios para evitar un accidente fatal, o bien en función de los indicadores económicos nacionales, como el producto interno bruto (PBI). Adoptando valores obtenidos en estudios previos, basados en este último enfoque en función del PBI, se consideraron los siguientes costos aproximados para cada tipo de accidente:

- Accidentes fatales: 75.000 dólares.
- Accidentes con heridos: 18.750 dólares.
- Accidentes solo con daños mecánicos: 7500 dólares.

La reducción global de accidentes entre los escenarios con proyecto y sin este genera beneficios sociales que se adicionan al total de beneficios por otros motivos, como los descritos en el punto siguiente.

3.3. Beneficios y costos exógenos considerados

Además de los ahorros por reducción de costos operacionales, tiempos de viaje y accidentes que se han descrito en la sección anterior, junto con los beneficios por tránsito generado, también se tuvieron en cuenta otros beneficios exógenos que se han incorporado al análisis, como los siguientes:

- Reducción de costos por el tendido del acueducto Gran Tulum.
- Reducción de costos por el tendido del gasoducto hacia Ullum y Zonda.
- Menores costos de operación y mantenimiento de ambos ductos.
- Beneficios económicos por incremento del turismo.

De igual manera, cabe contabilizar como costo exógeno las tareas anuales necesarias para el mantenimiento y la operación del túnel, que solo aparecen en el escenario con proyecto.

3.4. Flujos de costos de las alternativas

Teniendo en cuenta las distintas corrientes de costos y beneficios indicadas y descritas en los puntos precedentes, se confeccionaron las planillas de proyección de flujos tanto para el escenario sin proyecto como para los dos escenarios con proyecto (pavimento asfáltico vs. pavimento rígido).

El programa HDM-4 entrega como reportes las planillas de flujos de costos dentro de cada tramo y alternativa, a partir de las cuales se calculan los indicadores económicos comparativos entre alternativas. La figura 7 ejemplifica las planillas correspondientes a los flujos de costos totales para el tramo de túnel y accesos, en ambas alternativas de pavimentos.

| Tramo: T8 TRAMO TUNEL NUEVO Y ACCESOS Alternativa: 02 ALT PROYECTO TUNEL Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|--------------------------------------|--------------|-------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------|
| ID tramo: T8TTNYA | | Tipo de carretera: Secondary or Main | | Longitud: 6.00 km | | Ancho: 6.70 m | | Ascensos y descensos: 13.50 m/km | | Curvatura: 83.33 grados/km | |
| Año | Costos de la agencia (RAC) | | | | Costos de usuario (RUC) | | | | | Costos sociales / exógenos netos | Costo total de transporte |
| | Inversión | Recurrentes | Especiales | RAC Totales | Operación vehicular TM | Tiempo de viaje TM | Operación y viaje (TNM) | Accidentes | RUC Totales | | |
| 2019 | 571.289 | 0.000 | 0.000 | 571.289 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 571.289 |
| 2020 | 571.289 | 0.000 | 0.000 | 571.289 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 571.289 |
| 2021 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 137.408 | 37.768 | 0.000 | 3.333 | 178.509 | 0.000 | 179.357 |
| 2022 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 141.560 | 38.907 | 0.000 | 3.433 | 183.699 | 0.000 | 184.748 |
| 2023 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 145.822 | 40.079 | 0.000 | 3.536 | 189.437 | 0.000 | 190.285 |
| 2024 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 150.215 | 41.289 | 0.000 | 3.642 | 195.146 | 0.000 | 195.994 |
| 2025 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 154.744 | 42.537 | 0.000 | 3.751 | 201.032 | 0.000 | 201.881 |
| 2026 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 159.410 | 43.824 | 0.000 | 3.863 | 207.097 | 0.000 | 207.945 |
| 2027 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 164.217 | 45.150 | 0.000 | 3.979 | 213.346 | 0.000 | 214.194 |
| 2028 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 200.060 | 54.140 | 0.000 | 4.747 | 258.947 | 0.000 | 259.795 |
| 2029 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 206.109 | 55.782 | 0.000 | 4.889 | 266.780 | 0.000 | 267.628 |
| 2030 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 212.356 | 57.482 | 0.000 | 5.036 | 274.875 | 0.000 | 275.723 |
| 2031 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 218.818 | 59.250 | 0.000 | 5.187 | 283.255 | 0.000 | 284.103 |
| 2032 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 225.490 | 61.075 | 0.000 | 5.343 | 291.908 | 0.000 | 292.756 |
| 2033 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 232.480 | 62.968 | 0.000 | 5.503 | 300.951 | 0.000 | 301.799 |
| 2034 | 0.000 | 0.867 | 0.000 | 0.867 | 239.643 | 64.915 | 0.000 | 5.668 | 310.227 | 0.000 | 311.093 |
| 2035 | 0.000 | 0.855 | 0.000 | 0.855 | 246.911 | 66.914 | 0.000 | 5.838 | 319.663 | 0.000 | 320.518 |
| 2036 | 0.000 | 0.858 | 0.000 | 0.858 | 254.562 | 68.988 | 0.000 | 6.013 | 329.563 | 0.000 | 330.422 |
| 2037 | 0.000 | 0.860 | 0.000 | 0.860 | 262.497 | 71.127 | 0.000 | 6.194 | 339.818 | 0.000 | 340.678 |
| 2038 | -685.547 | 0.862 | 0.000 | -684.685 | 270.696 | 73.334 | 0.000 | 6.379 | 350.409 | 0.000 | -334.276 |
| Total: | 457.031 | 15.332 | 0.000 | 472.363 | 3,622.999 | 985.528 | 0.000 | 86.333 | 4,694.880 | 0.000 | 5,167.223 |

a) Alternativa con pavimento asfáltico

| Tramo: T8H TRAMO TUNEL PAV HORM Alternativa: 03 ALT PAVIM HORMIGON Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|-------------------------------------|--------------|-------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------|
| ID tramo: AT8TTPH | | Tipo de carretera: Primary or Trunk | | Longitud: 6.00 km | | Ancho: 6.70 m | | Ascensos y descensos: 13.50 m/km | | Curvatura: 83.33 grados/km | |
| Año | Costos de la agencia (RAC) | | | | Costos de usuario (RUC) | | | | | Costos sociales / exógenos netos | Costo total de transporte |
| | Inversión | Recurrentes | Especiales | RAC Totales | Operación vehicular TM | Tiempo de viaje TM | Operación y viaje (TNM) | Accidentes | RUC Totales | | |
| 2019 | 623.747 | 0.000 | 0.000 | 623.747 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 623.747 |
| 2020 | 623.747 | 0.000 | 0.000 | 623.747 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 623.747 |
| 2021 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 134.748 | 36.037 | 0.000 | 3.333 | 174.118 | 0.000 | 174.966 |
| 2022 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 138.815 | 37.124 | 0.000 | 3.433 | 179.371 | 0.000 | 180.220 |
| 2023 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 142.996 | 38.243 | 0.000 | 3.536 | 184.774 | 0.000 | 185.623 |
| 2024 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 147.303 | 39.398 | 0.000 | 3.642 | 190.342 | 0.000 | 191.191 |
| 2025 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 151.741 | 40.590 | 0.000 | 3.751 | 196.082 | 0.000 | 196.930 |
| 2026 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 156.313 | 41.819 | 0.000 | 3.863 | 201.996 | 0.000 | 202.844 |
| 2027 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 161.024 | 43.085 | 0.000 | 3.979 | 208.088 | 0.000 | 208.936 |
| 2028 | 0.947 | 0.848 | 0.000 | 1.795 | 196.072 | 51.704 | 0.000 | 4.747 | 252.522 | 0.000 | 254.317 |
| 2029 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 201.988 | 53.273 | 0.000 | 4.889 | 260.150 | 0.000 | 260.998 |
| 2030 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 208.092 | 54.897 | 0.000 | 5.036 | 268.025 | 0.000 | 268.874 |
| 2031 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 214.394 | 56.586 | 0.000 | 5.187 | 276.167 | 0.000 | 277.015 |
| 2032 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 220.889 | 58.328 | 0.000 | 5.343 | 284.560 | 0.000 | 285.408 |
| 2033 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 227.584 | 60.126 | 0.000 | 5.503 | 293.213 | 0.000 | 294.062 |
| 2034 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 234.485 | 61.981 | 0.000 | 5.668 | 302.134 | 0.000 | 302.982 |
| 2035 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 241.599 | 63.894 | 0.000 | 5.838 | 311.331 | 0.000 | 312.180 |
| 2036 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 248.933 | 65.869 | 0.000 | 6.013 | 320.816 | 0.000 | 321.664 |
| 2037 | 0.000 | 0.848 | 0.000 | 0.848 | 256.496 | 67.907 | 0.000 | 6.194 | 330.596 | 0.000 | 331.445 |
| 2038 | -747.549 | 0.848 | 0.000 | -746.701 | 264.295 | 70.010 | 0.000 | 6.379 | 340.685 | 0.000 | -406.016 |
| Total: | 500.891 | 15.271 | 0.000 | 516.162 | 3.547.765 | 940.872 | 0.000 | 86.333 | 4.574.970 | 0.000 | 5.091.132 |

b) Alternativa con pavimento de hormigón

Figura 7. Ejemplos de planillas de flujos de costos por alternativa, tramo túnel y sus accesos (valores en millones de pesos argentinos)

3.5. Estimación de beneficios

Al ejecutar la evaluación con el programa HDM-4, para este proyecto se obtuvieron muy buenos resultados desde el punto de vista económico. La alternativa de construcción de tramos y túnel con pavimento asfáltico tiene un VAN de beneficios levemente superior a los 38 millones de dólares, una TIR del 28,8% y su relación beneficio-costos (VPN/CAP) es de 1,472.

Por su parte, para la alternativa en pavimento de hormigón, los indicadores económicos resultan un poco más bajos que los obtenidos para la alternativa en asfalto. El VAN es de 36,7 millones de dólares, la TIR es del 26,9% y la relación VPN/CAP es de 1,302.

3.6. Análisis de sensibilidad

Para evaluar la robustez de los indicadores económicos, se analizaron otros escenarios posibles, con diferentes valores para los costos de inversión y para el tránsito. Ello es factible con la herramienta de sensibilidad del HDM-4 versión 2.10, utilizada en el presente estudio. Los escenarios fueron los siguientes:

- Incremento de los costos de capital (construcción + conservación mayor) en un 20%.
- Reducción de los volúmenes del tránsito normal en un 20%.
- Disminución de los beneficios exógenos en un 50%.
- Merma del tránsito generado en un 50%.
- Combinación simultánea de los escenarios precedentes.

En todos los casos evaluados, los indicadores económicos de ambas alternativas tuvieron valores superiores a los mínimos aceptables ($VAN > 0$ y TIR superior al 12%). A medida que el escenario analizado se fue volviendo más desfavorable, los indicadores de VAN y TIR fueron disminuyendo, pero en ningún caso pasaron a estar por debajo de los mínimos aceptables.

Por ello, la rentabilidad del proyecto es excelente y muy robusta, considerando todos los escenarios evaluados.

Conclusiones

Las principales conclusiones del estudio llevado a cabo se detallan a continuación:

- El proyecto analizado consiste en un túnel que atravesaría la sierra de Marquesado, al oeste de la ciudad de San Juan, y los caminos de acceso que lo conectarían con la actual RP 14, por el este, y con la RP 38, por el oeste.
- A través de este túnel, se produciría una vinculación más rápida y directa con los principales centros poblados de los departamentos de Zonda y Ullum, situados en ambos casos al oeste de la sierra de Marquesado.
- El túnel serviría, asimismo, para dar paso al futuro acueducto Gran Tulum y a un futuro gasoducto destinado a llevar gas natural a Ullum y Zonda, acortando sensiblemente su trazado original.
- Se plantearon dos alternativas para el escenario con proyecto, tanto para los caminos de acceso como para el túnel: pavimento asfáltico y pavimento de hormigón.
- Los resultados de la evaluación económica muestran que ambas alternativas son rentables desde el punto de vista social, aunque la alternativa en pavimento asfáltico arroja mejores indicadores, con un VAN de beneficios cercano a los 38 millones de dólares y una TIR del 28,8%.
- Al llevar a cabo un análisis de sensibilidad de estos indicadores respecto a escenarios más desfavorables, la rentabilidad se mantiene con valores de VAN y TIR por encima de los mínimos aceptables en todos los escenarios evaluados.
- En consecuencia, como conclusión final del estudio, se recomendó llevar a cabo el proyecto del túnel y sus accesos, con pavimento asfáltico, habiéndose demostrado su conveniencia económica, para la sociedad en su conjunto.

Referencias

- A. de La Torre y C. González, Determinación del factor equivalente de carga de los vehículos del parque automotor argentino en la región cuyo. San Juan, Argentina: Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, 1994.
- AASHTO, 1998 Supplement to the AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, Part II — Rigid Pavement Design & Rigid Pavement Joint Design. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1998.
- AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.
- EICAM, “Evaluación y ajuste de los modelos HDM4 de predicción del deterioro en pavimentos de hormigón para Argentina”, Research Project 21/1998. San Juan, AR: Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, 2003.
- M. Bustos, J. Marcet, O. Cordo, P. Girardi, M. Pereyra y Altamira, “Evaluation of Performance of PCC Pavements in Mid-Western Argentina, and Comparison with LTPP Data Using HDM-4 distress models”, Transp. Res. Rec., n.º 1947, pp. 110-120, 2006.
- NCHRP, “Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, Final Report”. NCHRP Project 1-37A. National Cooperative Highway Research Program,

Transportation Research Board, National Research Council, March 2004. [en línea]. Disponible: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/mepdg/2appendices_RR.pdf

R. G. Packard, Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Skokie, Illinois: Portland Cement Association, 1984.

SHRP, "Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project". Report SHRP-P-338, Strategic Highway Research Program, National Research Council, May 1993.