

Documento

Conpes

3084

República de Colombia
Departamento Nacional de Planeación

***Autorización a la Nación para contratar créditos externos
hasta por US\$218.2 millones, destinados a financiar el
proyecto Túnel de La Línea***

Ministerio de Transporte
Instituto Nacional de Vías
DNP: UINF-DITRAN

Versión aprobada

CAMBIO PARA CONSTRUIR LA PAZ

Santa Fe de Bogotá, D.C., julio 14 de 2000

INDICE

I.	TÚNEL DE LA LÍNEA.....	3
A.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	4
B.	ALTERNATIVA A	5
C.	ALTERNATIVA B.....	7
D.	BENEFICIOS DEL PROYECTO	9
II.	ESQUEMA DE INVERSIÓN.....	10
III.	RECOMENDACIONES.....	11

Este documento presenta al Consejo Nacional de Política Económica y Social –CONPES– el proyecto “Túnel de La Línea”, y somete a su consideración la autorización al Gobierno Nacional para contratar créditos externos hasta por el equivalente a US\$218.2 millones¹, para su financiación.

I. TÚNEL DE LA LÍNEA

El Corredor Vial Buenaventura – Bogotá es considerado como uno de los más importantes ejes de la Red Nacional de Carreteras, ya que integra al puerto de Buenaventura, principal puerto colombiano sobre la costa pacífica, con el interior del país.

En la actualidad la Sociedad Portuaria de Buenaventura –SPB– absorbe el 42% del tráfico portuario de las sociedades portuarias de servicio público². Durante 1999 la SPB movilizó 1,674,305 toneladas de carga para exportación, representando así cerca del 41% de las exportaciones totales de las sociedades portuarias de servicio público. A su vez, las importaciones movilizadas por la SPB, durante el mismo período, fueron de 3,956,995 toneladas, que corresponden al 51% de las importaciones de dichas sociedades.

Por lo anterior, el mejoramiento del Corredor Vial Buenaventura – Bogotá es un programa prioritario para la Nación, cuya ejecución se emprendería a través del sistema de concesión³. Este programa permitiría mejorar las condiciones de transporte entre tres importantes zonas agrícolas e industriales del país, como son el occidente colombiano, Bogotá y los llanos orientales. Así mismo, se complementaría con el mejoramiento de otros corredores viales que hacen posible la comunicación con el sur del país y la costa atlántica⁴. Por otro lado, favorecería el acercamiento comercial con los países vecinos de Ecuador y Venezuela.

En principio, se ha planteado la posibilidad de dividir este programa en varios proyectos; no obstante, el esquema definitivo sería establecido de acuerdo con las recomendaciones arrojadas por la

¹ Los valores consignados en este documento corresponden a enero de 2000.

² Fuente: Superintendencia General de Puertos. Anuario Estadístico 1999.

³ Teniendo en cuenta que la mayor parte de la carga de comercio exterior colombiano se moviliza por vía marítima, el Gobierno Nacional pretende fortalecer la promoción de las exportaciones a través del mejoramiento de las vías de acceso a los puertos marítimos. (Documento Cambio para Construir la Paz. Capítulo 5).

⁴ Dentro de la Tercera Generación de Concesiones (Documento Conpes 3045 del 17 de agosto de 1999) se tiene prevista la entrega en concesión, entre otros, de los corredores Briceño – Tunja – Sogamoso, Zipaquirá – Bucaramanga – Santa Marta y la Malla Vial del Caribe, compuesta por la Malla Vial Córdoba – Sucre y la Malla Vial Atlántico – Bolívar – Sucre. Por otra parte, se prevé la entrega en concesión del corredor Rumichaca – Pasto – Popayán.

Estructuración Técnica, Legal y Financiera de la Concesión, cuya contratación se tendría prevista para el segundo semestre de 2000.

El alcance del programa de concesión del corredor está sujeto a los resultados del Estudio de Demanda y Económico del Corredor Vial Buenaventura – Bogotá⁵.

Aunque el proyecto “Túnel de la Línea” forma parte del corredor a licitar, su ejecución se realizaría mediante contrato de obra pública⁶, a través de una licitación pública internacional, incluyendo dentro de los parámetros de evaluación, los costos de construcción, la financiación para la Nación y los costos de operación del proyecto durante sus primeros años de vida útil. Posteriormente, esta obra podría ser integrada al esquema de concesión.

A. Descripción del proyecto

El Túnel de La Línea quedaría localizado en una zona intermedia entre los municipios de Calarcá (Quindío) y Cajamarca (Tolima), atravesando la Cordillera Central. Sus portales se han designado con los nombres de Galicia (portal occidental) y Bermellón (portal oriental).

El portal occidental quedaría ubicado a una elevación de 2,422 m.s.n.m., mientras que el portal oriental se localizaría a 2,505 m.s.n.m.

La doble calzada Las Américas – Portal Galicia, con una longitud de 2,835 m. serviría de vía de acceso al portal occidental, mientras que el acceso Cinabrio – Portal Bermellón sería una intersección a desnivel de 675 m.

Para la construcción de este túnel de 8,600 m. de longitud y pendiente de 0.96%⁷, se consideraron dos alternativas constructivas, que se describen a continuación:

⁵ El Estudio de Demanda y Económico, a cargo del Consorcio Cal y Mayor y Asociados, S.C. – Duarte Guterman y Cia. Ltda., fue iniciado a principios del mes de abril del presente año; su terminación se tiene programada para el mes de septiembre de 2000. Este estudio permitirá establecer las obras requeridas para el mejoramiento del corredor y el momento adecuado de adelantarlas.

⁶ Se ha determinado que es más adecuado utilizar esta forma de contratación, debido principalmente a dos razones: i) los aportes de la Nación que se requerirían para la concesión serían similares al monto total de inversión, es decir que los recaudos por peaje solo cubrirían el mantenimiento y la operación; ii) la incertidumbre geológica es de tal magnitud que se considera más conveniente estructurar un contrato basado en precios unitarios.

⁷ Pendiente única de 0.96% en ascenso, desde el portal Galicia al portal Bermellón.

B. Alternativa A⁸

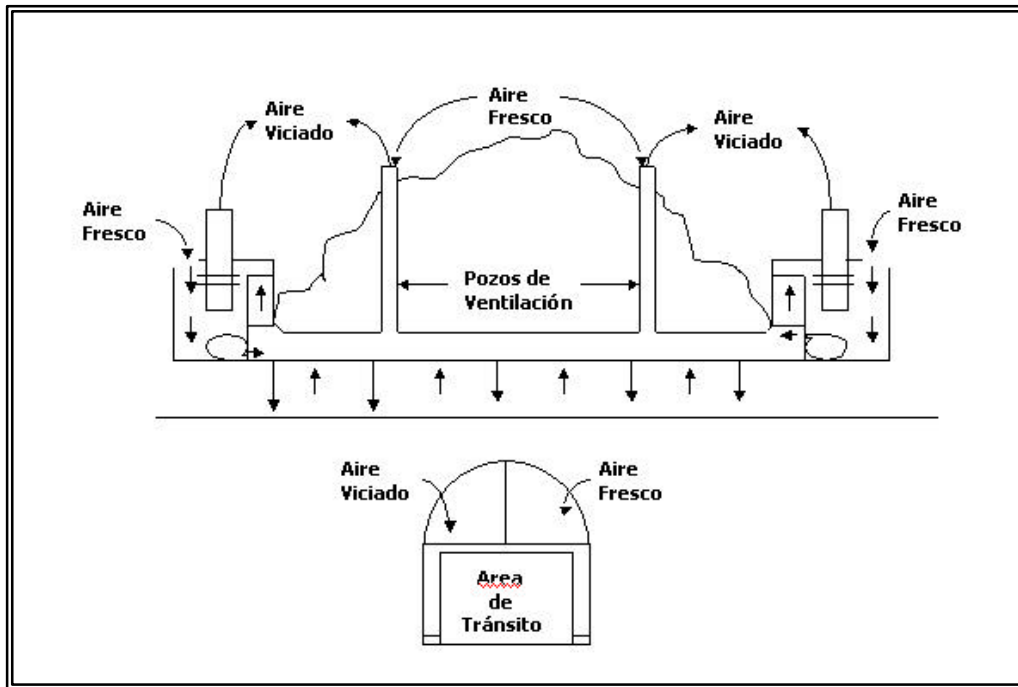
La Alternativa A consiste en la construcción de un túnel principal para tránsito en dos direcciones, acompañado de un túnel paralelo de rescate. El sistema de ventilación propuesto para el desarrollo de esta alternativa es de tipo transversal. El túnel principal tendría una calzada de 8 m. de ancho (dos carriles, cada uno de 4 m. de ancho) y andenes laterales de 0.85 m., con nichos de parqueo cada 1,000 m. aproximadamente.

El túnel de rescate, con una longitud aproximada de 8,560 m. se dispondría paralelo al túnel principal, a una distancia máxima de 60 m. y con un diámetro mínimo de 4.5 m. Este se uniría con el túnel principal a través de 17 galerías de rescate, construidas cada 480 m. aproximadamente.

El sistema de ventilación estaría compuesto por dos cavernas de ventilación (Alaska y Los Andes) y dos pozos de ventilación de 8.5 m. de diámetro interno, con profundidades de 500 m. (Alaska) y 450 m. (Los Andes). Este sistema operaría con la entrada de aire fresco y la salida de aire viciado por los dos portales y por los dos pozos de ventilación (Ver Figura No. 1).

⁸ La fuente de esta información es el Consorcio La Línea (integrado por las firmas Gómez, Cajiao y Asociados S.A., Consultoría Colombiana S.A. y Estudios Técnicos S.A.), responsable de la elaboración de los estudios de Fase II Avanzada del Cruce de la Cordillera Central.

Figura No. 1
Esquema del Sistema de Ventilación Transversal – Alternativa A



En caso de optar por esta alternativa, si se presenta una tasa anual de crecimiento del tránsito de 3.0% (crecimiento probable), el túnel se saturaría hacia el año 39 de operación⁹, debido a la congestión vehicular.

El costo de desarrollar esta alternativa asciende a cerca de US\$222 millones, incluyendo las vías de acceso provisionales y definitivas, costos imprevistos por 10%, el pago de aranceles y el IVA sobre la utilidad del contratista. Los costos estimados de operación y mantenimiento rutinario para esta alternativa constructiva, se estiman en cerca de US\$4.4 millones anuales.

Teniendo en cuenta que, por una parte, es posible que el nivel de servicio del túnel principal presente una disminución como consecuencia del crecimiento del tránsito vehicular, y, por otro lado que, para la evaluación económica de las alternativas¹⁰ resulta necesario hacerlas comparables, tal evaluación contempla la construcción de un segundo túnel previo a la saturación del primero.

⁹ Estimaciones preliminares realizadas por el Consorcio La Línea. No se contempla la posible saturación del sistema de ventilación debida a los gases emitidos, ya que ésta es difícil de determinar dados los avances tecnológicos en materia de control de emisiones de gases.

¹⁰ Anexo 1.

Es importante resaltar que los costos presentados en este literal para la Alternativa A (US\$222 millones), no incluyen los costos de las inversiones adicionales contempladas para el ejercicio de evaluación económica.

C. Alternativa B¹¹

La Alternativa B consiste en la construcción de dos túneles gemelos paralelos, cada uno dedicado al tránsito en una dirección. Esta alternativa requeriría de un sistema de ventilación longitudinal.

Cada uno de los túneles tendría una calzada de 7.5 m. de ancho (dos carriles, cada uno de 3.75 m. de ancho) y andenes de 0.85 m., con nichos de parqueo cada 1,000 m. aproximadamente.

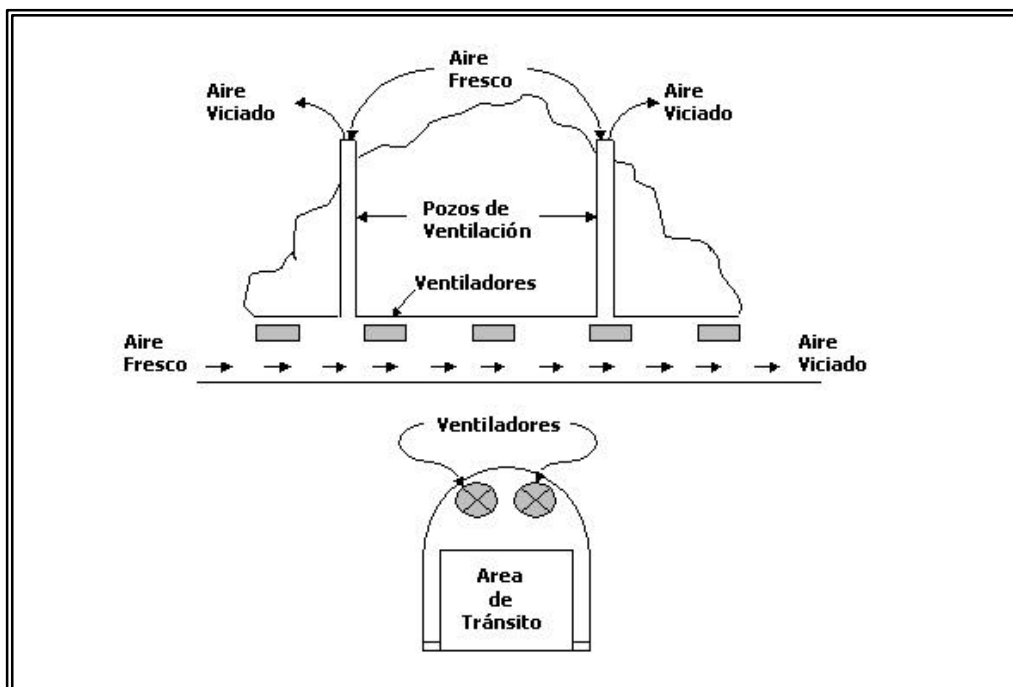
El sistema de ventilación requeriría igualmente de dos cavernas de ventilación (Alaska y Los Andes) y dos pozos de ventilación de 8.5 m. de diámetro interno, con profundidades de 500 m. (Alaska) y 450 m. (Los Andes). No obstante, funcionaría con la entrada de aire fresco por un portal y por los pozos, y con la salida de aire viciado por los dos pozos de ventilación y por el otro portal (Ver Figura No. 2).

Las diferencias entre este sistema de ventilación y el requerido para la Alternativa A radican, entre otras, en los equipos electromecánicos necesarios para la distribución de aire fresco y para la recolección y conducción de aire viciado.

¹¹ La fuente de esta información es el Consorcio La Línea, responsable de la elaboración de los estudios de Fase II Avanzada del Cruce de la Cordillera Central.

Figura No. 2

Esquema del Sistema de Ventilación Longitudinal – Alternativa B



En caso de presentarse una tasa anual de crecimiento del tránsito de 3.0% (crecimiento probable), el Túnel de La Línea no se saturaría durante su vida útil, que se estima en cerca de 100 años. Si la vida útil del túnel fuese ilimitada y se presentara la tasa de crecimiento del tránsito mencionada, su nivel de servicio presentaría una disminución significativa hacia el año 257 de operación¹².

Para la construcción de esta alternativa se requiere de una inversión aproximada de US\$312 millones, incluyendo las vías de acceso provisionales y definitivas, costos imprevistos por 10%, el pago de aranceles y el IVA sobre la utilidad del contratista. Los costos anuales de operación y mantenimiento rutinario se estiman en US\$3.8 millones para los dos túneles de la Alternativa B.

¹² Estimaciones preliminares realizadas por el Consorcio La Línea. No se contempla la posible saturación del sistema de ventilación debida a los gases emitidos, ya que ésta es difícil de determinar dados los avances tecnológicos en materia de control de emisiones de gases.

D. Beneficios del Proyecto

El Túnel de La Línea acortaría el recorrido actual en cerca de 10 Km. y evitaría un ascenso de 840 m. Esto significaría un ahorro de aproximadamente 30 minutos para vehículos livianos (72% del tiempo actual) y de aproximadamente 80 minutos para vehículos pesados (87% del tiempo actual).

Los ahorros en costos de operación, tiempos de desplazamiento, accidentalidad, entre otros, obtenidos con la construcción del Túnel de La Línea, permitirían una comunicación más eficiente entre el Pacífico colombiano y el centro del país, situación que estimularía el desarrollo de nuevas actividades de comercio exterior y que favorecería las establecidas en la actualidad.

En consecuencia, con el propósito de analizar de forma preliminar la conveniencia de llevar a cabo el proyecto “Túnel de La Línea”, se estimaron los beneficios de ejecutar las alternativas constructivas descritas y se compararon con sus costos de ejecución¹³.

El modelo mencionado incorpora los costos en los que incurren los actores involucrados en el proyecto, es decir, el contratista (costos de inversión, reposición de equipos, y operación y mantenimiento rutinario) y los usuarios de las obras de infraestructura (costos de operación vehicular, de tiempo de viaje, de accidentes y de incendios). Esta información se amplía en el Anexo 1.

Tales costos fueron estimados para un horizonte de tiempo de 50 años, para tres posibles escenarios: i) Escenario 0: no realizar el proyecto y continuar haciendo uso de la vía actual; ii) Escenario A: optar por la construcción de la Alternativa A, y iii) Escenario B: construir la Alternativa B.

Para establecer los beneficios y los costos de ejecutar las alternativas constructivas descritas, se compararon los costos estimados para los Escenarios 0 y A (en el caso de la Alternativa A) y para los Escenarios 0 y B (en el caso de la Alternativa B).

Bajo el supuesto de una tasa anual de crecimiento del tránsito de 3.0% (crecimiento probable), y considerando una tasa de descuento del 12%¹⁴, se calculó el valor presente neto de los beneficios y costos de las alternativas.

¹³ Para esta labor se contó con las Bases para un Modelo de Evaluación Económica de Alternativas, elaborado por el Consorcio La Línea.

¹⁴ Tasa de descuento tradicionalmente empleada por el Banco Mundial para la evaluación económica de los proyectos financiados por dicha entidad. Fuente: Handbook on Economic Analysis of Investment Operations. World Bank, 1996.

De acuerdo con los resultados del ejercicio de evaluación económica (ver el resumen en Cuadro No. 1), la Alternativa A presenta una relación beneficio – costo mayor a la de la Alternativa B. Por lo anterior, es recomendable incluir la Alternativa A en la licitación pública internacional

Cuadro No. 1
Beneficios y Costos del Proyecto

Concepto	Escenario 0 – Escenario A	Escenario 0 – Escenario B
Inversión y Reposición	(143,035)	(200,017)
Operación y Mantenimiento Rutinario	(12,110)	(9,539)
Incendios	(325)	(91)
Operación Vehicular	181,614	181,614
Tiempo de Viaje	21,811	23,297
Accidentes	3,505	3,774
Costos (Diferencias < 0)	(155,470)	(209,648)
Beneficios (Diferencias >0)	206,470	208,685
Relación beneficio – costo	1.33	0.99

Fuente: Consorcio La Línea. Cifras en US\$ miles.

II. ESQUEMA DE INVERSIÓN

En los Cuadros No. 2 y No. 3 se presentan los cronogramas estimados de inversión para la construcción del túnel, en caso de optar por las Alternativas A o B, respectivamente:

Cuadro No. 2
Cronograma de Inversión – Alternativa A

Año	Aranceles		Obras de Acceso		Túnel		Total
	Crédito	Nación	Crédito	Nación	Crédito	Nación	
2001			6.1		23.9		30.0
2002					17.9		17.9
2003					20.0		20.0
2004					32.5		32.5
2005		3.8	6.6		46.2		56.6
2006			6.7		43.3		50.0
2007			3.0		12.0		15.0
Total		3.8	22.4		195.8		222.0

Fuente: Consorcio La Línea. Cifras en US\$ millones.

Cuadro No. 3
Cronograma de Inversión – Alternativa B

Año	Aranceles		Obras de Acceso		Túnel		Total
	Crédito	Nación	Crédito	Nación	Crédito	Nación	
2001			6.5		23.5		30.0
2002					39.5		39.5
2003					31.0		31.0
2004					46.0		46.0
2005			6.5		70.0		76.5
2006		4.9	7.2		55.9		68.0
2007			3.2		17.8		21.0
Total		4.9	23.4		283.7		312.0

Fuente: Consorcio La Línea. Cifras en US\$ millones.

Para cualquiera de las dos alternativas, la construcción iniciaría durante el segundo semestre del año 2001 y finalizaría durante el segundo semestre del año 2007.

Teniendo en cuenta la recomendación de incluir la Alternativa A en la licitación pública internacional, se considera conveniente solicitar la autorización al CONPES para contratar créditos externos hasta por un monto equivalente a US\$218.2 millones, cantidad requerida para la financiación de la construcción del túnel (US\$195.8 millones) y de las vías de acceso provisional y definitivas (US\$22.4 millones), propias de la Alternativa A.

La entidad responsable de la ejecución del proyecto sería el INVIAS. En este sentido, la Nación, a través del Instituto, se encargaría del pago de los aranceles. Adicionalmente, se haría responsable de la contratación de la interventoría y de la asesoría del proyecto.

III. RECOMENDACIONES

Con base en las consideraciones anteriores, el Ministerio de Transporte y el Departamento Nacional de Planeación recomiendan al CONPES:

1. Autorizar al Gobierno Nacional para contratar créditos externos hasta por un monto equivalente a US\$218.2 millones, para financiar la ejecución del proyecto “Túnel de La Línea”, Alternativa A.

Las condiciones financieras de los créditos serán fijadas en su momento por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, buscando la obtención de un componente concesional dentro de la financiación.

2. Encargar al INVIAS la coordinación del proceso de contratación de la interventoría y la asesoría del proyecto “Túnel de La Línea”.
3. Solicitar al Ministerio de Hacienda y Crédito Público apoyar al INVIAS en las acciones tendientes a garantizar la inclusión de las condiciones del crédito dentro del pliego de condiciones de la licitación.
4. Encargar al Ministerio del Medio Ambiente adelantar las acciones para la agilización de los estudios y trámites de su competencia, necesarios para la ejecución del proyecto.

Anexo 1

Evaluación Económica de las Alternativas

Metodología

Para establecer la conveniencia de ejecutar el proyecto “Túnel de la Línea”, se realizó una evaluación económica que tuvo como soporte las Bases para un Modelo de Evaluación Económica de Alternativas, elaborado por el Consorcio La Línea.

La base de la evaluación la constituyen los costos en los que incurriría los participantes en el proyecto, es decir, el contratista y los usuarios de las obras de infraestructura:

- ⇒ **Contratista:**
 - Costos de inversión (C_{INV}).
 - Costos de reposición de equipos (C_R).
 - Costos de operación y mantenimiento rutinario ($C_{O y MR}$).

- ⇒ **Usuario:**
 - Costos de operación vehicular (C_{OV}).
 - Costos de tiempo de viaje (C_T).
 - Costos de accidente (C_A).
 - Costos de incendio (C_{INC}).

Estos costos¹⁵ fueron calculados para un horizonte de tiempo de 50 años (período elegido para la evaluación), considerando diferentes tasas anuales de crecimiento del tránsito, para tres posibles escenarios: i) Escenario 0: no realizar el proyecto y continuar haciendo uso de la vía actual; ii) Escenario A: optar por la construcción de la Alternativa A, y iii) Escenario B: construir la Alternativa B.

A continuación se presentan las características de dichos costos y los principales supuestos utilizados para su estimación.

⇒ **Costos de inversión (C_{INV}):** costos directos e indirectos de construcción. No se incluyen, para efectos de la evaluación económica, los costos por pago de aranceles e IVA sobre la utilidad del

¹⁵ Los costos fueron estimados en US\$ de enero de 2000, para así evitar la indexación de los montos calculados en desarrollo de la evaluación.

contratista. Lo anterior, tomando en consideración que la relación precio de cuenta de los impuestos es cero, y que bajo este concepto se registran las transferencias entre los agentes económicos¹⁶. De esta forma, se elimina la distorsión generada por los impuestos sobre los precios de mercado.

- Escenario 0: no se realizan inversiones en nueva infraestructura. Se continua utilizando la vía actual.

- Escenario A: entre el año 1 y el año 7 del proyecto, los costos de inversión (C_{INV}) corresponden a los de construcción de un túnel con las características propias de la Alternativa A¹⁷. Para efectos comparativos, se utiliza el supuesto de construir un segundo túnel de similares características, previo a la saturación¹⁸ del primero.

El costo total del segundo túnel se estima como el 40% del costo de la Alternativa B. Teniendo en cuenta que la construcción de este túnel toma cerca de 5 años, el modelo supone el inicio de su construcción 5 años antes de la saturación del primer túnel.

- Escenario B: entre el año 1 y el año 7 del proyecto, los costos de inversión (C_{INV}) corresponden a los de construcción de la Alternativa B¹⁹.

⇒ **Costos de reposición de equipos (C_R):** corresponden a las inversiones requeridas para la reposición de los equipos de iluminación, ventilación, comunicaciones, entre otros, de los túneles, por efecto de la terminación de su vida útil. Por lo anterior, estos costos no son aplicables para el Escenario 0.

⇒ **Costos de operación y mantenimiento rutinario ($C_{O y MR}$):** corresponden, por una parte, a los costos en los que incurre el contratista para preservar las obras de infraestructura y mantenerlas en condiciones de uso (C_{MR}), y por otra parte, a las inversiones requeridas para su operación (C_O).

$$C_{O y MR} = C_O + C_{MR}$$

¹⁶ Estimación de Precios de Cuenta para Colombia. DNP – BID. Washington, D.C. 1990.

¹⁷ La construcción del túnel inicia durante el segundo semestre del año 1 y finaliza durante el primer semestre del año 7.

¹⁸ Entendida como la disminución significativa del nivel de servicio del túnel.

¹⁹ La construcción de los túneles inicia durante el segundo semestre del año 1 y finaliza durante el primer semestre del año 7.

- Escenario 0: inversiones periódicas que se requieren para garantizar el mantenimiento rutinario de la vía actual, asegurando el buen estado de su superficie de rodadura (C_{MR}). Contempla la ejecución de obras tales como sellos de fisuras, bacheos, refuerzo de la estructura de pavimento, etc.

- Escenario A: entre el año 1 y el primer semestre del año 7, los costos del mantenimiento rutinario (C_{MR}) equivalen a los propios del Escenario 0, por cuanto la vía existente permanece en operación.

A partir del segundo semestre del año 7 y hasta el momento de entrada en operación del segundo túnel, los costos del mantenimiento rutinario (C_{MR}) corresponden a las inversiones requeridas para asegurar el buen estado de la superficie de rodadura del primer túnel. Una vez entra en operación el segundo túnel, estos costos se estiman como las inversiones requeridas para asegurar el buen estado de la superficie de rodadura de los dos túneles.

En cuanto a los costos de operación (C_O), estos corresponden a las cuantías requeridas a partir del segundo semestre del año 7 para la operación de los equipos electromecánicos, incluyendo el efecto por la entrada en funcionamiento del segundo túnel. Se supone que el incremento anual de estos costos es directamente proporcional al crecimiento anual del tránsito vehicular.

- Escenario B: entre el año 1 y el primer semestre del año 7, los costos del mantenimiento rutinario (C_{MR}) equivalen a los del Escenario 0, por cuanto la vía existente permanece en operación.

Desde el segundo semestre del año 7, los costos del mantenimiento rutinario (C_{MR}) corresponden a las inversiones requeridas para asegurar el buen estado de la superficie de rodadura de los dos túneles.

Al igual que para el caso del Escenario A, los costos de operación corresponden a las inversiones necesarias para la operación de los equipos electromecánicos. Para la estimación de los costos de operación (C_O), se supone que su incremento anual es directamente proporcional al crecimiento anual del tránsito vehicular.

⇒ **Costos de operación vehicular (C_{OV}):** corresponden a los costos de uso de vehículo, los cuales están directamente relacionados con la distancias recorridas.

Los costos de operación vehicular se calculan como la multiplicación de la distancia recorrida (d) y el resultado de la ponderación de los costos unitarios de operación vehicular (c_{OV_i}) y los tránsitos vehiculares (TPD_i), correspondientes a las diferentes categorías de vehículos que transitan por la zona.

$$C_{OV} = 365 \times d \times \sum_i (c_{OV_i} \times TPD_i \times \%_i)$$

Los costos unitarios de operación vehicular (c_{OV_i}) por categoría de vehículo²⁰ fueron tomados de la cartilla Volúmenes de Tránsito 1998, publicada por la Subdirección de Conservación del INVIAS.

Para el Escenario 0 se emplean los costos unitarios correspondientes a un terreno montañoso pavimentado en regular estado, mientras que para los Escenarios A y B, se utilizaron los propios de un terreno plano pavimentado en buen estado.

- Escenario 0: la distancia recorrida (d) corresponde a la longitud del corredor actual, es decir, 22 Km.

- Escenario A: la distancia recorrida (d) corresponde a la longitud del túnel y sus accesos, es decir 11.9 Km.²¹

- Escenario B: la distancia recorrida (d) corresponde a la longitud del túnel y sus accesos, es decir 11.9 Km.²²

⇒ **Costos de tiempo de viaje (C_T):** corresponden a los costos del tiempo de viaje de los pasajeros que transitan por la vía.

²⁰ Sin costos de tiempo de viaje o carga.

²¹ Una porción de los accesos al túnel, mencionados en el Capítulo II de este documento, coinciden con parte del trazado del corredor actual.

²² Una porción de los accesos al túnel, mencionados en el Capítulo II de este documento, coinciden con parte del trazado del corredor actual.

Son el resultado de multiplicar el número anual de pasajeros (n_{pas}), el tiempo de viaje (t) y el valor horario del tiempo (v_t).

$$C_T = n_{pas} \times t \times v_t$$

El número anual de pasajeros (n_{pas}) se estima a partir del volumen de tránsito de vehículos livianos y buses (TPD_i), y de su nivel de ocupación vehicular (o_i).

$$n_{pas} = 365 \times \sum_i (TPD_i \times o_i)$$

Los niveles de ocupación vehicular supuestos para los vehículos livianos y buses que transitan por la vía (o_i), son de 3 y 20 pasajeros respectivamente.

El tiempo de viaje (t) se estima como el cociente entre la distancia recorrida (d) y la velocidad media de desplazamiento (V_m)²³.

$$t = \frac{d}{V_m}$$

Así mismo, se tuvo en cuenta que conforme aumenta el tránsito vehicular, la velocidad media (V_m) se reduce por congestión.

Para calcular el valor horario del tiempo (v_t) de los pasajeros que transitan por la vía, se supone que éste es proporcional al ingreso horario promedio (I_{hor}) de aquellos que lo hacen durante su jornada laboral.

El modelo supone que el 50% de los viajeros transita por la vía durante su jornada laboral ($\%_{lab}$), y que el porcentaje restante lo hace en horario diferente al de su actividad productiva. Adicionalmente, se

²³ Las distancias recorridas y las velocidades de desplazamiento son las mismas estimadas para el cálculo de los costos de operación vehicular.

presume que los pasajeros tienen en promedio ingresos iguales al salario mínimo más un 34% de prestaciones sociales, y que trabajan en jornadas de 8 horas diarias, durante 20 días del mes. Con base en estos datos se estable el ingreso horario promedio (I_{hor}) de los pasajeros.

$$v_t = \%_{lab} \times I_{hor}$$

El valor horario del tiempo (I_{hor}) y el nivel de ocupación vehicular (o_i) fueron estimados de acuerdo con la metodología empleada por la firma Consultoría Colombiana S.A., en desarrollo de los *Estudios Definitivos para la Construcción de la Carretera Cartagena – Turbo, Subsector No. 1 Cartagena – Tolú*²⁴, y de acuerdo con la información recogida por el Consorcio La Línea en adelante de los *Estudios de Fase II Avanzada del Cruce de la Cordillera Central*²⁵.

- Escenario 0: se supone que para el año 43 del proyecto, la velocidad media de desplazamiento (V_m) llega a ser igual a la mitad de la velocidad media actual²⁶, que fue determinada con base en mediciones de tiempo de recorrido entre Bermellón y Las Américas.

- Escenario A: el modelo supone que la velocidad media de desplazamiento (V_m) al momento de entrada en operación del primer túnel, es de 60 Km./hora. Así mismo, supone que debido a la congestión vehicular, tal velocidad se reduce gradualmente hasta llegar, en el año de su saturación, a ser igual a la mitad de la velocidad inicial. Desde la entrada en funcionamiento del segundo túnel, la velocidad (V_m) permanece constante en 80 Km./hora.

- Escenario B: el modelo supone que la velocidad media de desplazamiento (V_m) al momento de entrada en operación de los dos túneles, es de 80 Km./hora. Así mismo, se supone que durante el período de evaluación del proyecto, y dado que no se presenta saturación, la velocidad de desplazamiento (V_m) no sufre modificaciones sustanciales.

²⁴ Elaborados por Consultoría Colombiana en marzo de 1996.

²⁵ En desarrollo por parte del Consorcio La Línea.

²⁶ La velocidad media de desplazamiento en la carretera actual se calculó en 18.2 Km./hora.

⇒ **Costos de accidentes (C_A)**: son función de los índices de accidentalidad y del costo unitario por accidente.

El modelo supone que los costos de accidentes (C_A) son iguales a la suma de los costos en los que se incurre por posibles defunciones (C_{Def}), por pasajeros que resulten heridos en los accidentes (C_{Her}) y por el daño de vehículos y el entorno ($C_{Veh y Ent}$).

$$C_A = C_{Def} + C_{Her} + C_{Veh y Ent}$$

Los costos mencionados son proporcionales al número anual de accidentes (n_{acc}), que se estima con base en el índice de accidentes (i_{acc}), la longitud del trayecto (d) y el tránsito vehicular (TPD).

$$n_{acc} = i_{acc} \times d \times TPD$$

Los costos por defunciones y por heridos son función de los índices de defunciones (i_{Def}) y heridos (i_{Her}), y de los costos unitarios de defunciones (c_{Def}) y de heridos (c_{Her}), respectivamente.

$$C_{Def} = i_{Def} \times n_{acc} \times c_{Def}$$

$$C_{Her} = i_{Her} \times n_{acc} \times c_{Her}$$

El modelo supone que los costos debidos al daño de vehículos y el entorno ($C_{Veh y Ent}$) son el resultado de multiplicar el número anual de accidentes (n_{acc}) y el costo unitario asociado a este tipo de accidente ($c_{Veh y Ent}$).

$$C_{Veh y Ent} = n_{acc} \times c_{Veh y Ent}$$

Los índices de accidentalidad utilizados para los tres escenarios fueron estimados a partir de estadísticas de accidentalidad de los tres últimos años y de las *Memorias de la Conferencia Internacional sobre Túneles y Obras Subterráneas*²⁷.

El costo unitario por accidente fue tomado de los *Estudios de Fase II Avanzada del Cruce de la Cordillera Central*.

⇒ **Costos de incendio (C_{INC})**: los costos de incendios comprenden, por una parte, los costos de accidentalidad ($C_{A\ inc}$), ya que se supone que los incendios son causados por accidentes en los cuales hay muertos y heridos, y por otra parte, los costos derivados de mayores distancias recorridas ($C_{OV\ inc}$) y mayores tiempos de viaje ($C_{T\ inc}$), como consecuencia de cierres y desvíos en los túneles por incendios.

$$C_{INC} = C_{A\ inc} + C_{OV\ inc} + C_{T\ inc}$$

Los costos de accidentalidad por la ocurrencia de incendios ($C_{A\ inc}$) son función de los índices de incendios (i_{inc}) y de accidentalidad, y de los costos unitarios por accidente. Se estiman de acuerdo con la metodología expuesta para costos de accidentes (C_A), reemplazando el número anual de accidentes (n_{acc}) por el número anual de incendios (n_{inc}), que se calcula de la siguiente manera:

$$n_{inc} = i_{inc} \times d \times TPD$$

Los índices de incendios fueron tomados del libro *Fire and Smoke Control in Road Tunnels*²⁸, mientras que los índices de accidentalidad fueron estimados a partir de estadísticas de accidentalidad de los tres últimos años y de las *Memorias de la Conferencia Internacional sobre Túneles y Obras Subterráneas*²⁹.

²⁷ Universidad Javeriana. Bogotá, junio de 1998.

²⁸ PIARC Committee on Road Tunnels, 1999.

²⁹ Universidad Javeriana. Bogotá, junio de 1998.

El costo unitario por accidente fue tomado de los *Estudios de Fase II Avanzada del Cruce de la Cordillera Central*.

Los costos por desvíos y retrasos ($C_{OV\ inc} + C_{T\ inc}$) son proporcionales al tiempo que los túneles permanecen cerrados ($t_{c\ inc}$) como consecuencia de la ocurrencia de incendios.

El tiempo total de cierre (t_c) es el resultado de multiplicar el número anual de incendios (n_{inc}) por un tiempo de cierre promedio ($t_{c\ inc}$).

$$t_c = n_{inc} \times t_{c\ inc}$$

El modelo supone que el tiempo de cierre promedio ($t_{c\ inc}$) de los túneles, debido a la ocurrencia de incendios, es de 6 horas.

Para determinar los costos de operación vehicular ($C_{OV\ inc}$) y los costos de tiempo de viaje ($C_{T\ inc}$), en los que se incurre como consecuencia de los incendios, se multiplica el tiempo total de cierre (t_c) por los costos horarios de operación vehicular ($C_{OV\ hor}$) y de tiempo de viaje ($C_{T\ hor}$). Estos últimos se calculan dividiendo los costos totales anuales de operación vehicular (C_{OV}) y de tiempo de viaje (C_T)³⁰, estimados para la ruta suplente, entre el número de horas de un año.

$$C_{OV\ inc} + C_{T\ inc} = t_c \times (C_{OV\ hor} + C_{T\ hor})$$

$$C_{OV\ hor} = \frac{C_{OV}}{(365 \times 24)}$$

$$C_{T\ hor} = \frac{C_T}{(365 \times 24)}$$

³⁰ Se calculan siguiendo la metodología ya descrita.

- Escenario 0: el modelo no contempla estos costos para este escenario, dado que no considera probable la ocurrencia de un incendio en una vía a cielo abierto dispuesta en una topografía montañosa, lo cual obliga el tránsito a bajas velocidades de desplazamiento.

- Escenario A: a partir del año 1 y hasta la entrada en operación del primer túnel, este escenario es equivalente al Escenario 0.

Desde la entrada en operación del primer túnel y hasta la entrada en operación del segundo de ellos, la ruta suplente es la vía actual. A partir de la entrada en funcionamiento del segundo túnel, la ruta suplente es el túnel que no se encuentre cerrado. En tal caso, dicho túnel opera como un túnel para tránsito en dos direcciones.

- Escenario B: a partir del año 1 y hasta la entrada en operación de los dos túneles, este escenario es equivalente al Escenario 0.

La ruta suplente es el túnel que no se encuentre cerrado. En tal caso, dicho túnel opera como un túnel para tránsito en dos direcciones.

Dado que se considera probable que se presente un crecimiento anual del tránsito del 3%, los anteriores costos fueron estimados a partir de este supuesto, para cada uno de los escenarios mencionados. Los valores presentes netos de estos costos se presentan en el Cuadro No. 4. Estos fueron calculados utilizando una tasa de descuento del 12%.

Cuadro No. 4
Valor Presente Neto de los Costos

Concepto	Escenario 0	Escenario A	Escenario B
Inversión y Reposición	0	143,035	200,017
Operación y Mantenimiento Rutinario	16,133	28,243	25,673
Incendios	0	325	91
Operación Vehicular	432,240	250,626	250,626
Tiempo de Viaje	40,243	18,432	16,946
Accidentes	7,429	3,925	3,655

Fuente: Consorcio La Línea. Cifras en US\$ miles.