

CONSEJO DE SEGURIDAD VIAL
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTES

PROYECTO
AUTOPISTA GENERAL CAÑAS

3. ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTOS
Y ESTRATEGIAS DE REHABILITACION

INFORME FINAL

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



MARZO 1997

**CONSEJO DE SEGURIDAD VIAL
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTES**

**PROYECTO
AUTOPISTA GENERAL CAÑAS**

**3. ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTOS
Y ESTRATEGIAS DE REHABILITACION**

INFORME FINAL

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**



MARZO 1997

INDICE GENERAL

SECCION	PAGINA
1. OBJETIVO	1
1.1 ALCANCES	1
2. PROYECCION DE TRANSITO.....	2
2.1 ESCENARIO BASE.....	2
2.2 ESCENARIO DE CARGA.....	2
3. MODELOS DE DETERIORO Y ALTERNATIVAS DE REHABILITACION.....	5
3.1 PAVIMENTO ASFALTICO.....	5
3.1.1 Definición de escenarios.....	5
3.1.2 Cálculo de espesores.....	9
3.1.2.1 Estrategia No. 1.....	9
3.1.2.2 Estrategia No. 2.....	11
3.1.3 Análisis de fatiga y de formación de roderas.....	12
3.1.4 Análisis de deflexiones para comprobación de espesores.....	16
3.1.5 Índice de Servicio (PSI).....	16
3.2 PAVIMENTO RIGIDO.....	18
4. ELEMENTOS PARA EL ANALISIS DE ALTERNATIVAS.....	21
4.1 COSTOS DE OPERACION DE VEHICULOS.....	22
4.1.1 Resistencia al rodaje.....	23
4.1.2 Efecto de la rugosidad superficial.....	24
4.2 VALOR DEL TIEMPO DE VIAJE.....	27
4.3 EFECTO EN LA SEGURIDAD VIAL.....	28
4.4 EFECTO EN EL CONSUMO ELECTRICO.....	29

SECCION	PAGINA
5. COSTO CONSTRUCTIVO.....	31
5.1 COSTO INICIAL DE ALTERNATIVAS.....	31
5.2 COSTO DE ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO RUTINARIO.....	32
5.2.1 Mantenimiento rutinario para pavimentos asfálticos.....	33
5.2.2 Mantenimiento rutinario para pavimento rígido.....	34
5.3 COSTO DEL MANTENIMIENTO PERIODICO.....	35
6. IMPACTO DEL MANTENIMIENTO Y REHABILITACION.....	37
6.1 COSTO DE LA CONGESTION.....	37
6.2 COSTO INDIRECTO DE LA CONTRATACION.....	38
6.3 VALOR DE RECUPERACION DEL PAVIMENTO.....	39
6.3.1 Pavimento rígido.....	39
6.3.2 Pavimento asfáltico.....	39
7. EVALUACION ECONOMICA DE ALTERNATIVAS.....	41
7.1 PARAMETROS ECONOMICOS BASICOS.....	41
7.2 RESULTADOS ECONOMICOS.....	52
7.3 SENSIBILIDAD DE LA EVALUACION.....	53
7.3.1 Variación del costo de congestión.....	53
7.3.2 Variación de la tasa de interés.....	53
7.3.3 Variación del plazo.....	54
7.3.4 Variación de los valores residuales.....	54
7.3.5 Falla en la política de conservación.....	54
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
BIBLIOGRAFIA.....	58
ANEXOS	
ANEXO A. PENDIENTE DE LA CURVA DE DEFORMACION.....	59
ANEXO B. PRESUPUESTO DE OBRA.....	61

ANEXO C. ANALISIS ECONOMICO.....	65
ANEXO D. VALOR PRESENTE NETO PARA DIFERENTES OPCIONES DE CONSTRUCCION Y REHABILITACION.....	73
ANEXO E. VALOR PRESENTE NETO EN FUNCION DE LA TASA DE INTERES.....	75
ANEXO F. COSTOS TOTALES INCLUYENDO COSTOS DE CONGESTION.....	77

ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTO Y POLITICAS DE RECONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO PARA LA AUTOPISTA GENERAL CAÑAS

1. OBJETIVO

El objetivo general de este estudio es realizar una evaluación técnica y económica de diferentes alternativas de pavimento y políticas de conservación y mantenimiento para la ampliación de la autopista General Cañas a seis carriles a partir de la evaluación técnica de la condición del pavimento existente en 1996.

1.1 ALCANCES

Este estudio comprende el diseño estructural en tres carriles por sentido, entendiendo que la adecuación del tercer carril utilizaría el espaldón existente y sólo requiere de las mismas capas de refuerzo necesarias para los otros dos carriles existentes. Esta suposición implica que no se consideran cambios geométricos de trazado, por lo tanto no se incluye movimiento de tierra ni terracería para la construcción del carril adicional, consecuentemente el diseño geométrico del tercer carril, así como la readecuación de los drenajes laterales, están fuera del alcance del presente estudio. Es así como el objetivo principal del estudio es evaluar comparativamente las alternativas de pavimento para el tránsito proyectado en los próximos 30 años de servicio.

Se diseñaron varios modelos de deterioro para las diferentes alternativas, de modo que su capacidad estructural fuese aceptable para una autopista de intenso tránsito y similar para todas las opciones de pavimento. En este sentido se crearon tres estrategias de conservación para el pavimento asfáltico de tipo semi-rígido (con base estabilizada) y tres alternativas de pavimento rígido con losas de hormigón de diferente espesor.

El cálculo de costo constructivo y de conservación utilizó la recomendación hecha por el MOPT sobre la ubicación del tercer carril. Este carril se construiría en ambos sentidos entre la intersección Juan Pablo II y la intersección Río Segundo en Alajuela. Los costos utilizados fueron obtenidos de cotizaciones recientes presentadas ante el MOPT para realizar obras viales y trabajos de mantenimiento.

El pronóstico de la demanda fue obtenido mediante la simulación y proyección del tránsito en el modelo SIATGAM y las bases de datos históricas de uso de la autopista. Se utilizaron los escenarios desarrollados por la consultora L.C.R. Logística S.A. en el Estudio de Factibilidad para la Ampliación y Mejoramiento de la Autopista General Cañas (1996).

La evaluación de las alternativas se realiza mediante análisis económico; de tipo absoluto y comparativo, para distintas tasas de interés y para tres períodos de análisis; a saber, 15, 22 y 30 años. Además se incluye una sección de análisis de sensibilidad donde se cambia el valor de una variable y se mantienen las demás constantes para analizar el efecto neto que tiene cada variable en el resultado del análisis.

Como complemento del análisis económico, se incluyen algunos parámetros cualitativos y administrativos, denominados externalidades del proyecto, que deben ser considerados en la selección de la mejor alternativa y que no siempre pueden ser incluidos en un análisis puramente económico.

2. PROYECCION DE TRANSITO

2.1 ESCENARIO BASE

El pronóstico de demanda elaborado por L.C.R. Logística S.A. propone un escenario que supone la finalización y apertura de la carretera Próspero Fernández (autopista a Caldera) en el año 2005. El funcionamiento de esta carretera implica una disminución del tránsito interregional que utilizaría la autopista General Cañas a partir de ese año. En la simulación del tránsito futuro no se incluye la apertura del sector norte del proyecto de Anillo Periférico porque se considera poco probable que esté construido para el año horizonte máximo de proyección.

El escenario propuesto por L.C.R. Logística S.A. llega solamente hasta el año 2015. Después de este año se utilizó una extrapolación de crecimiento geométrico con la tasa de crecimiento igual a la del periodo 2005-2015 para alcanzar hasta los 30 años de proyección del tránsito. Esta tasa de crecimiento es de aproximadamente 1.8% anual. La autopista con tres carriles alcanza un nivel cercano a su saturación ($V/C=0.85$) después del año 2019 y por ello el crecimiento anual del tránsito no puede ser muy alto después de esa fecha.

Los datos de tránsito promedio diario anual (TPDA) pronosticado para la autopista y usados en este estudio se muestran en la tabla 2.1.

2.2 ESCENARIO DE CARGA

La proyección base sirvió de referencia para el cálculo del tránsito de diseño durante la vida útil del proyecto. Los ejes equivalentes de carga fueron calculados aplicando los datos del modelo

de demanda SIATGAM sobre proyecciones de TPDA para los años 1996, 2000, 2005 y 2015 y con interpolaciones lineales entre los valores pronosticados para esos años.

La distribución del tránsito por tipo de vehículo fue obtenida de los conteos históricos recopilados por el MOPT en la autopista General Cañas. Los pesos equivalentes a ejes estándar de 8.2 toneladas fueron adaptados de la recomendación del método de diseño del AASHTO.

Se utilizó un factor de distribución del 65% del tránsito en un sentido de circulación para el carril de diseño y se supuso una distribución simétrica de flujo en ambos sentidos.

TABLA 2.1
PRONOSTICO DE DEMANDA DE LA AUTOPISTA GENERAL CAÑAS CON SEIS CARRILES

AÑO	TPDA	V/C	AÑO	TPDA	V/C
1998	61.729	0.56	2013	85.489	0.78
1999	64.247	0.58	2014	86.992	0.79
2000	66.765	0.61	2015	88.494	0.80
2001	68.106	0.62	2016	89.996	0.82
2002	69.447	0.63	2017	91.499	0.83
2003	70.788	0.64	2018	93.001	0.85
2004	72.129	0.66	2019	94.504	0.86
2005	73.471	0.67	2020	96.205	0.87
2006	74.973	0.68	2021	97.936	0.89
2007	76.475	0.70	2022	99.699	0.91
2008	77.978	0.71	2023	101.494	0.92
2009	79.480	0.72	2024	103.321	0.94
2010	80.982	0.74	2025	105.180	0.96
2011	82.485	0.75	2026	107.074	0.97
2012	83.987	0.76	2027	109.001	0.99

Los escenarios de distribución vehicular y de las cargas equivalentes por eje se muestran en la tabla 2.2.

TABLA 2.2
ESCENARIO DE DISTRIBUCION DEL TRANSITO Y DE CARGAS

Tipo de Vehiculo	Proporción del TPD	Peso Equiv. en Ejes
automóvil	62.5%	0.001
carga liviana	22.5%	0.3
autobús	6.5%	1
camión mediano	6.3%	1
camión pesado	1.15%	1.6
camión articulado	1.05%	2.5

3. MODELOS DE DETERIORO Y ALTERNATIVAS DE REHABILITACION

En esta sección se definen los modelos de deterioro de las alternativas de pavimento durante el periodo de análisis de 30 años de vida útil. En la primera sección se analiza el pavimento asfáltico con tres opciones de rehabilitación y en la segunda sección se estudia el pavimento de concreto para tres espesores de losa.

3.1 PAVIMENTO ASFÁLTICO

El análisis de las condiciones actuales del pavimento de la autopista General Cañas permitió conocer varios parámetros para realizar el diseño de un nuevo pavimento asfáltico. El diseño mediante el método AASHTO definió la nueva estructura de pavimento requerida con los siguientes componentes: perfilado de la capa superior existente, luego construcción de una base estabilizada con cemento de 26 cm de espesor y sobre ella una carpeta de mezcla asfáltica de 17 cm.

3.1.1 Definición de escenarios

Para definir los modelos de deterioro del pavimento asfáltico se utilizaron dos estrategias de rehabilitación, que son las siguientes:

a) Refuerzo con sobrecapas estructurales en los años 10, 19 y 28 y colocación de capa delgada en los años intermedios 5, 14 y 23. Las capas delgadas de 5 cm de espesor tienen la función principal de evitar el proceso de oxidación de la capa existente y mejorar el índice de rugosidad del pavimento (IRI). Como una variante de esta estrategia se propone que esta capa delgada pueda construirse con un microaglomerado en caliente, mejorado con un aditivo polimérico. En este caso se puede disminuir el espesor de la capa delgada, pero para efectos de costos, la disminución en espesor se compensa con el incremento del costo por la incorporación del aditivo.

b) Recuperación parcial o reciclaje de los 8 cm superiores de carpeta asfáltica, agregando material nuevo hasta completar una capa reciclada de 12 cm de espesor, en los años 9, 17 y 25. Colocación de capa delgada (4 cm) en los años intermedios 4, 13 y 21. Con las mismas características indicadas en el caso anterior.

Los espesores totales acumulados de sobrecapa para los diferentes escenarios considerados en cada una de las etapas de la vida útil del pavimento se presentan en la tabla 3.1.

En cada uno de los escenarios se calculó el número estructural inicial y el deterioro del mismo para cada período donde corresponde colocar una sobrecapa estructural, de manera que el espesor de cada sobrecapa se calcula de forma que permita recuperar la capacidad estructural original.

TABLA 3.1: ESPESORES TOTALES ACUMULADOS DE CARPETA ASFÁLTICA EN EL PERÍODO DE ANALISIS

	ESTRATEGIA No. 1		ESTRATEGIA No. 2	
	Año (#)	Espesor total acumulado (cm)	Año	Espesor total acumulado (cm)
ETAPA INICIAL	0	0	0	0
COLOCACION DE PRIMERA CAPA DELGADA	5	4	4	4
COLOCACION DE PRIMERA SOBRECAPA	10	12	9	8
COLOCACION DE SEGUNDA CAPA DELGADA	14	16	13	12
COLOCACION DE SEGUNDA SOBRECAPA	19	24	17	16
COLOCACION DE TERCERA CAPA DELGADA	23	28	21	20
COLOCACION DE TERCERA SOBRECAPA	28	36	25	24

En cada estrategia analizada se hace una revisión de las condiciones del pavimento referentes a agrietamiento por fatiga y formación de roderas. Adicionalmente, para cada sobrecapa, se hace un análisis del espesor requerido con base en la deflexión estimada. El programa ELSYM5 fue utilizado para obtener los parámetros requeridos para el análisis de fatiga, roderas y deflexiones, utilizando los módulos de elasticidad presentados en la tabla 3.2, obtenidos a partir del análisis y comprobación de módulos.

Para cada período en que se coloca una sobrecapa, se considera un nivel de deterioro en los módulos de elasticidad del pavimento original, debido a consumo de su vida útil. Sin embargo, al acercarse al final del período de diseño de 30 años, se ha limitado el deterioro a valores mínimos de los módulos de elasticidad, de acuerdo con los rangos establecidos por la AASHTO para pavimentos flexibles.

TABLA 3.2: MÓDULOS DE ELASTICIDAD POR ETAPA DE LA VIDA ÚTIL DEL PAVIMENTO

ETAPA	E carpeta (kg/cm ²)	E base estab. (kg/cm ²)	E base granular (kg/cm ²)	E subbase (kg/cm ²)	E subras. (kg/cm ²)
inicial	8100 - 26400	42250	1480	700	420
antes 1er. sobrecapa	120000 - 24650	37700	1230	630	420
después 1er sobrecapa	8100 - 26400	37700	1230	630	420
antes 2da. sobrecapa	120000 - 24650	31700	1020	600	420
después 2da sobrecapa	8100 - 26400	31700	1020	600	420
antes 3ra. sobrecapa	120000 - 24650	31700	990	600	420
después 3ra sobrecapa	8100 - 26400	31700	990	600	420

Para cada una de las diferentes etapas de la vida útil del pavimento se han considerado dos módulos de elasticidad; uno bajo (correspondiente a altas temperaturas), y otro valor alto (correspondiente a bajas temperaturas).

Ambas estrategias de rehabilitación presentan similares rangos para los módulos de elasticidad de la carpeta, considerando que no se espera un nivel de deterioro elevado en la misma en el momento que se rehabilita. No hay ninguna diferencia en los módulos de elasticidad de las capas inferiores del pavimento en cada una de las estrategias consideradas (sobrecapas o reciclaje).

Los módulos actuales de elasticidad de la base, subbase y subrasante fueron determinados en un estudio previo del pavimento existente realizado por el LANAMME. Los módulos de elasticidad de la carpeta y la base estabilizada son valores típicos para tales tipos de materiales. Los módulos de elasticidad en función del grado de deterioro de las capas para todos los materiales del pavimento fueron determinados con base en los coeficientes estructurales recomendados por la AASHTO y presentados en la tabla 3.3.

TABLA 3.3
COEFICIENTES ESTRUCTURALES POR CAPA Y POR ETAPA DE LA VIDA ÚTIL
DEL PAVIMENTO

ETAPA	a1 carpeta	a2 base estabilizada	a3 base granular	a4 subbase
inicial	0.40 (1)	0.175	0.10	0.08
antes 1er. sobrecapa	0.275 (1)	0.15	0.085	0.075
después 1er. sobrecapa	0.40 (2) 0.275 (1)	0.15	0.085	0.075
antes 2da. sobrecapa	0.275 (2) 0.20 (1)	0.115	0.07	0.065
después 2da. sobrecapa	0.40 (3) 0.275 (2) 0.20 (1)	0.115	0.07	0.065
antes 3ra. sobrecapa	0.275 (3) 0.20 (2) 0.18 (1)	0.100	0.065	0.06
después 3ra. sobrecapa	0.40 (4) 0.275 (3) 0.20 (2) 0.18 (1)	0.100	0.065	0.06

Notas:

- (1) Se refiere a la primera carpeta.
- (2) Primera sobrecapa.
- (3) Segunda sobrecapa.
- (4) Tercera sobrecapa.

En el caso de la estrategia de rehabilitación con sobrecapas, la primera carpeta es de 17 cm y cada sobrecapa de refuerzo es de 8 cm.

En el caso de la estrategia con reciclaje, el espesor de las capas es variable, ya que inicialmente la primera capa es de 17 cm, pero la segunda se reduce a 13 cm, dado que para el momento en que se construye la segunda sobrecapa ya se ha colocado una capa delgada de 4 cm y previo a la colocación de la sobrecapa se perfilan 8 cm (año 9). Igualmente, al colocar la segunda sobrecapa de 12 cm se reduce el espesor de la primera

sobrecapa a sólo 8 cm (año 17), mientras que la primera carpeta queda en 13 cm. Finalmente, al colocar la tercera sobrecapa de 12 cm se reduce el espesor de la segunda sobrecapa a 8 cm (año 25), quedando la primera sobrecapa en 8 cm y la primera carpeta en 13 cm.

3.1.2. Cálculo de espesores de sobrecapa

El cálculo del espesor de sobrecapa se hace por medio de la diferencia entre el número estructural requerido y el número estructural existente en el pavimento, utilizando la ecuación $SN = \text{sumatoria } (a_i * h_i * f_i)$, donde a_i son los coeficientes estructurales, h_i son los espesores en pulgadas y f_i son los coeficientes de drenaje, que en este caso se suponen iguales a 1.0 en todos los casos, dado que se asume que se dispondrá de medios eficientes para la evacuación del agua.

El número estructural al inicio de la vida útil es:

$$SN-1 = 0.40 * 17/2.54 + 0.175 * 26/2.54 + 0.10 * 14/2.54 + 0.08 * 20/2.54 = 5.7$$

El espesor de sobrecapa se calcula con base en la diferencia del número estructural requerido y el número estructural del pavimento existente, dividido por el coeficiente estructural del concreto asfáltico nuevo (0.40). El número estructural requerido depende del número de ejes equivalentes para el periodo de diseño y una pérdida permisible en el índice de servicio que se definió en 2.0.

3.1.2.1. Estrategia No. 1

Se considera en este caso, como opción de rehabilitación, la estrategia de colocar sucesivas sobrecapas de concreto asfáltico.

* Primera sobrecapa

El número estructural antes de colocar la primera sobrecapa estructural es:

$$SN-2 = 0.275 * 17/2.54 + 0.15 * 26/2.54 + 0.085 * 14/2.54 + 0.075 * 20/2.54 = 4.4$$

Según el nomograma de la AASHTO, para 24.2 millones de ejes equivalentes (predicción de carga en el año 10, para una vida útil de 10 años) y una pérdida en el índice de servicio de 2.0, el número estructural requerido es 5.8.

El espesor de sobrecapa es la diferencia entre números estructurales dividida por el coeficiente estructural del concreto asfáltico nuevo (0.40), siendo igual a 8.9 cm ($1.4/0.40 * 2.54$). Dado que no se ha reconocido ganancia en la capacidad estructural por la colocación de la capa delgada (4 cm), dicho espesor puede disminuirse a 8 cm, sin que se esté minimizando la capacidad estructural requerida.

* Segunda sobrecapa

El número estructural antes de colocar la segunda sobrecapa estructural es:

$$SN-4 = 0.275 * 8 / 2.54 + 0.20 * 17/2.54 + 0.115 * 26/2.54 + 0.07 * 14/2.54 + 0.065 * 20/2.54 = 4.3$$

Se considera, para efectos de diseño, que sobre la carretera deben pasar 25.7 millones de ejes equivalentes (de acuerdo con el nivel de cargas del año 19 y para una vida útil de 10 años). Así, nuevamente el número estructural requerido es 5.8.

La diferencia con respecto al número estructural inicial es 1.5 y el espesor requerido de la sobrecapa es 9.5 cm ($1.5/0.40 * 2.54$). Sin embargo, dado que ya se ha colocado una capa delgada de 4 cm previo a la sobrecapa estructural y que se proyecta colocar esta sobrecapa un año antes del final de la vida útil de diseño de la anterior, se recomienda construir un refuerzo de 8.0 cm.

* Tercera sobrecapa

El número estructural antes de colocar la segunda sobrecapa estructural es:

$$SN-4 = 0.275 * 8/2.54 + 0.20 * 8/2.54 + 0.18 * 17/2.54 + 0.10 * 26/2.54 + 0.065 * 14/2.54 + 0.06 * 20/2.54 = 4.6$$

Se considera, para efectos de diseño, que sobre la carretera deben pasar 26.7 millones de ejes equivalentes (siguiendo el patrón de crecimiento de los casos anteriores), para una vida útil aproximada de 10 años. Así, nuevamente el número estructural requerido es 5.9.

La diferencia con respecto al número estructural inicial es 1.3 y el espesor de la sobrecapa es 8.3 cm ($1.3/0.40 * 2.54$), recomendándose la colocación de una sobrecapa de 8.0 cm, como en los casos anteriores.

3.1.2.2. Estrategia No. 2

En este caso la estrategia propuesta consiste en reciclar hasta un espesor de 8 cm y luego ajustar el espesor de sobrecapa según el requerimiento estructural.

* Primera sobrecapa

El número estructural al retirar la porción de la carpeta asfáltica que se va a reciclar es:

$$\text{SN-2 (2)} = 0.275 * 13/2.54 + 0.15 * 26/2.54 + 0.085 * 14/2.54 + 0.075 * 20/2.54 = 4.0$$

El refuerzo estructural se colocará en el año de servicio No. 9, por lo que para ese periodo de vida pasarían 23.7 millones de ejes equivalentes. Dado que la pérdida permisible es 2.0 en el índice de servicio, se requiere un número estructural de 5.8.

El espesor de la sobrecapa se determina como la diferencia entre el número estructural requerido y efectivo existente, dividida por 0.40 (coeficiente estructural de una carpeta de concreto asfáltico nueva), siendo igual a 11.4 cm ($1.8/0.40 * 2.54$), sugiriéndose, por lo tanto, la utilización de una sobrecapa de 12 cm de espesor.

* Segunda sobrecapa

El número estructural al retirar la porción de concreto asfáltico de la primera sobrecapa que se va a reciclar es:

$$\text{SN-4 (2)} = 0.275 * 8/2.54 + 0.20 * 13/2.54 + 0.115 * 26/2.54 + 0.07 * 14/2.54 + 0.065 * 20/2.54 = 3.9$$

En las mismas condiciones de la primera sobrecapa se requiere un número estructural de 5.8, para una vida útil de aproximadamente 10 años y 24.7 millones de ejes equivalentes; por lo tanto, se requiere un refuerzo estructural de 12.1 cm ($1.9/0.40 * 2.54$). Así, se recomienda la colocación de una sobrecapa de 12 cm, utilizando el material de los 8 cm superiores de la carpeta ya existente.

* Tercera sobrecapa

El número estructural al retirar la porción de concreto asfáltico de la segunda sobrecapa que se va a reciclar es:

$$\text{SN-4 (2)} = 0.275 * 8/2.54 + 0.20 * 8/2.54 + 0.18 * 13/2.54 + 0.10 * 26/2.54 + 0.065 * 14/2.54 + 0.06 * 20/2.54 = 4.25$$

En las mismas condiciones de la primera sobrecapa se requiere un número estructural de 5.9, para una vida útil de aproximadamente 10 años; de modo que, se requiere un refuerzo estructural de 10.3 cm ($1.65/0.40 * 2.54$). Debido a la mayor desviación estándar (mayor incertidumbre), que se puede esperar en el comportamiento de las capas recicladas, se recomienda utilizar en este caso el mismo espesor de las sobrecapas anteriores, es decir 12 cm.

3.1.3 Análisis de fatiga y de formación de roderas

Para que exista consistencia con el diseño estructural de las sobrecapas, la revisión de espesores se hace con los mismos números de ejes equivalentes mencionados en la Sección 1.1.2, que oscilan entre 20 y 25 millones, dependiendo de la estrategia de rehabilitación y el período al que correspondan. El número de ejes equivalentes que debe soportar el pavimento en cada una de las etapas de su vida útil para un período de 30 años se presenta en la tabla 3.4.

TABLA 3.4: EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS POR PASAR PARA CADA ETAPA DE REHABILITACIÓN

AÑO	ESCENARIO No. 1 (ejes equivalentes por pasar)	ESCENARIO No. 2 (ejes equivalentes por pasar)
0	72.9 millones	72.9 millones
9		55.1 millones
10	53.0 millones	
17		36.5 millones
19	28.8 millones	
25		15.0 millones
28	6.2 millones	

El cálculo total de ejes equivalentes anual y acumulado hasta el final de la vida útil del proyecto se presenta en la tabla 3.5. Estos datos sirven para comparar la capacidad estructural del pavimento desde el punto de vista de resistencia a fatiga y al ahuellamiento, partiendo del total de ejes equivalentes proyectados a pasar por la autopista (tabla 3.4)

Debe notarse que para cada escenario se indican únicamente los valores relevantes, de conformidad con la estrategia de rehabilitación descrita en la Sección 3.1.1.

En la tabla 3.6 se presenta el cálculo de capacidad efectiva para cada etapa, con base en el agrietamiento y la formación de roderas. Se presentan los datos tanto para la alternativa en que el módulo de elasticidad es bajo (altas temperaturas), como cuando toma valores altos (bajas temperaturas).

El valor " N_f " se refiere al número de ejes equivalentes requeridos para que se dé falla por agrietamiento (fatiga), mientras que " N_d " se refiere al número de ejes equivalentes para que se presente un ahuellamiento de 1 a 1.5 cm (tabla 3.6).

Debe notarse que en la tabla 3.6 se presentan únicamente los cálculos de " N_f " y " N_d " para las primeras dos sobrecapas, dado que en el momento de colocar la tercera sobrecapa se considera que el nivel adicional de deterioro en los módulos de elasticidad de las capas inferiores del pavimento es poco significativo, posterior a la colocación de la segunda sobrecapa. Bajo esta consideración, el hecho de colocar la tercera capa viene a incrementar la capacidad estructural a fatiga, que ya era satisfactoria.

Puede apreciarse en los valores obtenidos de " N_f " y " N_d " que el pavimento diseñado tiene una gran capacidad de resistencia al agrietamiento y a la formación de roderas, dado que estos índices exceden por mucho incluso el total de ejes equivalentes acumulado para 30 años de servicio (tabla 3.5). Adicionalmente, queda comprobado que los refuerzos estructurales son adecuados para el nivel de carga correspondiente a períodos de 10 años (20 a 25 millones de ejes equivalentes). De conformidad con este modelo de análisis se concluye que el pavimento diseñado funcionará adecuadamente durante la vida útil de 30 años, requiriendo únicamente mantenimiento periódico (limpieza, pintura, etc.) aparte de las tres sobrecapas y capas delgadas especificadas. Adicionalmente, se debe prever que de forma esporádica se presenten fisuras, grietas o pequeños baches aislados que requerirían mantenimiento periódico.

**TABLA No. 3.6 CALCULO DE VIDA UTIL DEL PAVIMENTO
CON BASE EN CRITERIOS DE FATIGA Y RODERAS.**

CASO	TIPO	E	e_t	e_c	NF	ND
INICIAL	A	115000	*	1.460E-04	*	2.03E+08
	B	375000	7.12E-06	1.11E-04	1.21E+11	6.92E+08
ANTES I SOBRECAPA	A	120000	*	1.50E-04	*	1.80E+08
	B	350000	9.16E-06	1.16E-04	5.58E+10	5.68E+08
DESPUES I SOBRECAPA ESCENARIO 1	A	115000	8.96E-05	1.17E-04	7.94E+07	5.47E+08
	B	375000	2.01E-05	8.63E-05	3.96E+09	2.14E+09
DESPUES I SOBRECAPA ESCENARIO 2	A	115000	1.12E-04	1.20E-04	3.81E+07	4.88E+08
	B	375000	3.12E-05	8.84E-05	9.32E+08	1.92E+09
ANTES II SOBRECAPA ESCENARIO 1	A	120000	8.74E-05	1.22E-04	8.31E+07	4.53E+08
	B	350000	2.59E-05	9.32E-05	1.82E+09	1.51E+09
ANTES II SOBRECAPA ESCENARIO 2	A	120000	1.10E-05	1.26E-04	7.62E+10	3.92E+08
	B	350000	2.71E-05	9.31E-05	1.57E+09	1.52E+09
DESPUES II SOBRECAPA ESCENARIO 1	A	115000	9.13E-05	1.07E-04	7.47E+07	8.16E+08
	B	375000	2.30E-05	7.91E-05	2.54E+09	3.15E+09
DESPUES II SOBRECAPA ESCENARIO 2	A	115000	1.25E-04	1.03E-04	2.66E+07	9.68E+08
	B	375000	3.66E-05	8.20E-05	5.51E+08	2.69E+09

A = módulo de elasticidad de la carpeta a altas temperaturas.

B = módulo de elasticidad de la carpeta a bajas temperaturas.

E = Módulo de Elásticidad (psi)

e_t = Deformación unitaria transversal en la última fibra de la carpeta asfáltica

e_c = Deformación unitaria vertical en la primera fibra de la sub-rasante

NF = Número de repeticiones admisibles con base en criterio de agrietamiento por fatiga

ND = Número de repeticiones admisibles con base en criterio de agrietamiento por rodera

* No falla por fatiga a tensión (la última fibra de la carpeta está en compresión)

3.1.4. Análisis de deflexiones para revisión de espesores

Por medio del programa ELSYM5 se calcularon las deflexiones tanto en la superficie del pavimento, como en la superficie de la sub-rasante, según se indica en la tabla 3.7. Debe notarse que en esta tabla se presentan las deflexiones hasta la colocación de la segunda sobrecapa, dado que se consideró que los módulos de elasticidad de las capas del pavimento no se deterioran mayormente en la última etapa del análisis y que la colocación de la tercera sobrecapa, incluso, viene a reducir las deflexiones registradas después de la colocación de la sobrecapa anterior.

Las deflexiones en la superficie se utilizan como verificación de los espesores recomendados para la sobrecapa. También se usa el número de ejes equivalentes proyectado para cada período de 10 años (vida útil de cada refuerzo), equivalente a un rango de 20 a 25 millones de ejes equivalentes. Para efectos de análisis se utiliza el nomograma del Instituto del Asfalto de Los Estados Unidos para cálculo de sobrecapas (MS-17).

Para ambas estrategias los resultados son similares, dado que de acuerdo con el plan de rehabilitación y el crecimiento esperado en el total anual de ejes equivalentes, las sobrecapas estructurales uno y dos deben ser diseñadas para un orden de magnitud de 20 a 25 millones de ejes equivalentes y deflexiones esperadas de 0.050 cm. La tercera sobrecapa se podría diseñar para el número de ejes por pasar hasta el final de la vida útil del pavimento, pero dado que el método de cálculo de las sobrecapas con base en el número estructural se fundamentó en el objetivo de lograr la misma capacidad estructural que se tiene al inicio del proyecto, para tener consistencia, se verificó el espesor de la sobrecapa por deflexiones con 25 millones de ejes equivalentes, al igual que las otras sobrecapas. De esta manera, de acuerdo con el MS-17 se deben colocar sobrecapas de 7.6 cm, lo cual concuerda con el cálculo basado en número estructural.

3.1.5. Índice de Servicio (PSI)

El índice de servicio PSI es un indicador que permite determinar la calidad de un pavimento en función del deterioro superficial de la vía. El valor inicial de PSI para un pavimento flexible oscila entre 4.2 y 4.5. En este caso se ha considerado 4.5 como el PSI en el momento en que la carretera entra en operación, dado el alto volumen de tránsito, 3 carriles por sentido y su capacidad estructural elevada (número estructural de 5.7).

TABLA No. 3.7. DESPLAZAMIENTOS MEDIDOS CON ELSYM5 EN LA SUPERFICIE DE LA CARPETA ANTE SOLICITACION DE UN EJE EQUIVALENTE (8200 kg).

CASO	TIPO	E	UZ (PULGADAS)		UZ (CENTIMETROS)	
			SUPERFICIE	SUB-RASANTE	SUPERFICIE	SUB-RASANTE
INICIAL	A	150000	1.77E-02	1.23E-02	0.044958	0.031242
	B	500000	1.36E-02	1.10E-02	0.034544	0.02794
ANTES I SOBRECAPA	A	100000	1.79E-02	1.25E-02	0.045466	0.03175
	B	300000	1.41E-02	1.12E-02	0.035814	0.028448
DESPUES I SOBRECAPA ESCENARIO 1	A	120000	1.76E-02	1.15E-02	0.044704	0.02921
	B	380000	1.29E-02	1.01E-02	0.032766	0.025654
DESPUES I SOBRECAPA ESCENARIO 2	A	140000	1.78E-02	1.17E-02	0.045212	0.029718
	B	450000	1.30E-02	1.02E-02	0.03302	0.025908
ANTES II SOBRECAPA ESCENARIO 1	A	100000	1.79E-02	1.17E-02	0.045466	0.029718
	B	300000	1.35E-02	1.04E-02	0.03429	0.026416
ANTES II SOBRECAPA ESCENARIO 2	A	100000	1.81E-02	1.19E-02	0.045974	0.030226
	B	300000	1.34E-02	1.04E-02	0.034036	0.026416
DESPUES II SOBRECAPA ESCENARIO 1	A	110000	1.70E-02	1.07E-02	0.04318	0.027178
	B	350000	1.18E-02	9.20E-03	0.029972	0.023368
DESPUES II SOBRECAPA ESCENARIO 2	A	135000	1.62E-02	1.12E-02	0.041148	0.028448
	B	425000	1.12E-02	9.47E-03	0.028448	0.0240538

A = Módulo de elasticidad de la carpeta a altas temperaturas.

B= Módulo de elasticidad de la carpeta a bajas temperaturas.

E= Módulo de Elásticidad (psi)

UZ= Desplazamientos verticales

Para cada estrategia se determinó la reducción en el índice de servicio para cada año en que se coloca un refuerzo estructural (sobrecapa), por medio de la ecuación de diseño estructural de la AASHTO. De esta manera, a partir del número estructural inicial, el número de ejes equivalentes esperados antes de cada refuerzo estructural, las condiciones de soporte de la sub-rasante, la incertidumbre característica de un proceso constructivo típico (valor experimental de la AASHTO) y un nivel de confianza de 90% o de 95% (se tomó el PSI promedio de ambos casos), se puede determinar el correspondiente índice de servicio (PSI).

Al colocar las sobrecapas, para las dos estrategias consideradas, se determinó el PSI correspondiente. Al colocar los refuerzos estructurales, el PSI de 4.5 es recuperado, para comenzar a decrecer hasta llegar al año en que una nueva sobrecapa debe ser construída. Adicionalmente se calcula el PSI al final de un período de 30 años, que es el período de análisis económico, dado que es la base del cálculo del valor de rescate.

La curva de PSI en función del tiempo se traza de acuerdo con los valores iniciales de PSI y los índices de servicio previos a la colocación de la sobrecapa, utilizando la forma característica de esta curva (tendencia decreciente parabólica). A partir de la curva de PSI es posible derivar la curva de IRI (índice de rugosidad internacional), por medio de una ecuación de correlación. Las curvas de variación del índice de rugosidad durante el periodo de servicio del pavimento se presentan en la sección 4 de este estudio.

3.2 PAVIMENTO RÍGIDO

La estructura del pavimento rígido diseñada consiste en la colocación de una base estabilizada de 23 cm sobre la estructura existente (14 cm de base y 20 cm de subbase), y de una capa de rodamiento hecha con una losa de concreto de 25.0 cm.

El espesor de las losas de concreto fue inicialmente establecido en 25 cm, de acuerdo con el método de diseño de la PCA y una vida útil de 22 años. Sin embargo, dado que al incrementar el espesor de losa se logra obtener una mayor regularidad del índice de rugosidad (IRI) y un mayor valor residual al final de la vida útil, se hizo un análisis económico para diferentes espesores de losa (25 cm, 26.5 cm y 28 cm). Cada uno de estos espesores fue simulado con el tránsito proyectado para los 30 años de servicio y se obtuvieron las respectivas curvas de variación del índice de rugosidad y las fechas en las que se requiere un refuerzo estructural (ver tabla 3.8 y la sección 4.1).

El pavimento rígido se diseñó para 22 años de vida útil según la metodología de la PCA. Luego al formular las estrategias de conservación a largo plazo se decidió colocar una sobrecapa de hormigón de 20 cm de espesor en el año de servicio No. 22. Esta sobrecapa garantiza un adecuado nivel de servicio del pavimento más allá de los 30 años, que fue el plazo máximo analizado para las alternativas. El espesor de dicho refuerzo estructural fue calculado por medio del modelo EXPEAR.

Con este modelo se determinó también el patrón de agrietamiento transversal para el carril derecho durante los primeros 22 años de operación del pavimento, concluyendo que se presentarían 10 losas agrietadas por milla. Con esta base, se calculó el espesor del refuerzo considerando una sobrecapa de concreto hidráulico sobre la estructura existente y buscando el espesor que proporcionara un patrón de agrietamiento transversal similar al diseño original (10 losas agrietadas por milla al final de un período de 20 años en el carril derecho).

El programa EXPEAR (que está hecho para pavimentos de concreto con juntas y sin acero de refuerzo) fue utilizado para obtener el efecto del tránsito en el pavimento rígido, de manera que se calculó el índice de servicio PSR por año, utilizando la siguiente información:

- Tránsito promedio diario al inicio de la vida útil del pavimento e índice de crecimiento porcentual del TPD.
- Módulo de reacción de la estructura sobre la que se coloca la losa de concreto (1200 psi = 84 Kg/cm² para una base estabilizada).
- Condiciones climáticas del área del proyecto.
- Geometría de la carretera, incluyendo diseño de las juntas, dimensiones de los carriles y espaldones, tamaño de las losas, etc.
- Índice de servicio PSR por año del proyecto de la vida de servicio del pavimento.
- Módulo de ruptura del concreto a los 28 días (45 kg/cm²).

El modelo EXPEAR, además de proporcionar el índice de servicio por año, determina el patrón de deterioro del pavimento en términos de formación de grietas transversales, descalce de losas, daño de juntas y pérdida de soporte. Estos parámetros aportan información referente a la capacidad estructural del pavimento y al modelo de deterioro de la estructura.

El índice PSR permite determinar el valor IRI (índice de rugosidad internacional) para el pavimento por medio de una ecuación de correlación entre ambos parámetros.

Las necesidades de rehabilitación y mantenimiento calculadas por los modelos de deterioro sirven como datos de entrada para el análisis económico de las diferentes alternativas de pavimentos.

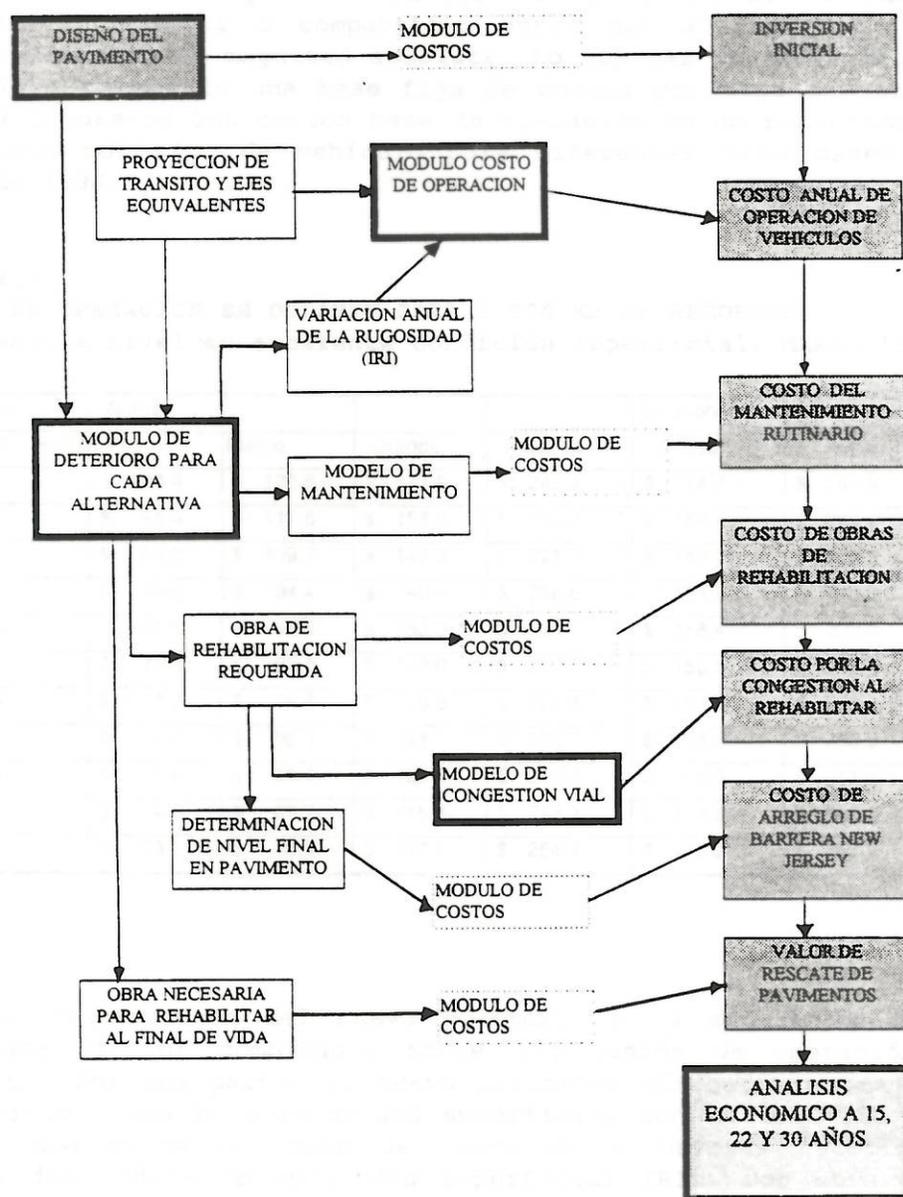
TABLA 3.8
DATOS DEL REFUERZO ESTRUCTURAL PARA LOS PAVIMENTOS RIGIDOS

ALTERNATIVA DE PAVIMENTO RIGIDO	ESPEJOR 25 cm	ESPEJOR 26.5 cm	ESPEJOR 28 cm
Espeor capa refuerzo	20 cm	20 cm	20 cm
Fecha de refuerzo	año 22	año 22	año 24

4. ELEMENTOS PARA EL ANALISIS DE ALTERNATIVAS

En esta sección se presentan los parámetros y procedimientos que se utilizan para evaluar los costos y beneficios de las distintas alternativas de pavimento para la autopista General Cañas. El proceso para formular el análisis económico de cada alternativa se puede visualizar mejor en el esquema de la Figura 4.1

Fig. 4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA EVALUACION ECONOMICA DE LOS PAVIMENTOS



4.1 COSTOS DE OPERACION DE VEHICULOS

La evaluación económica de las inversiones en carreteras y pavimentos requiere de la valoración de los costos de operación de los vehículos que utilizarían la obra. Los costos de operación base fueron obtenidos del modelo de costos de operación que calcula periódicamente el Departamento de Planificación del M.O.P.T. para cada tipo de vehículo.

Dichos costos fueron transformados a costos en dólares para evitar que la devaluación de la moneda nacional distorsione su valor real. No obstante, debido a que los costos de operación se obtienen de un análisis incremental o comparativo entre dos alternativas, no tiene mayor relevancia su magnitud absoluta. Lo que más interesa es su cambio relativo a partir de una base fija de costos por tipo de vehículo. La tabla 4.1 muestra los costos base de operación en un recorrido de 1.000 kilómetros por tipo de vehículo para diferentes velocidades medias a marzo de 1996.

TABLA 4.1
COSTOS DE OPERACION EN DOLARES PARA 1.000 Km DE RECORRIDO
(pavimento a nivel en excelente condición superficial, MARZO 1996)

Marzo 1996	Autos			Camiones			
Velocidad Kph	Peq.	Medio	Grande	Autobus	2 ejes	3 ejes	5 ejes
35	\$ 103.4	\$ 126.6	\$ 171.9	\$ 243.9	\$ 174.7	\$ 245.9	\$ 240.9
40	\$ 95.4	\$ 117.5	\$ 158.5	\$ 230.0	\$ 164.4	\$ 232.2	\$ 228.7
45	\$ 89.6	\$ 109.3	\$ 147.3	\$ 221.1	\$ 157.0	\$ 220.2	\$ 232.5
50	\$ 85.0	\$ 104.4	\$ 140.4	\$ 218.6	\$ 154.8	\$ 218.3	\$ 225.1
55	\$ 81.5	\$ 99.8	\$ 133.9	\$ 221.7	\$ 156.4	\$ 222.0	\$ 235.3
60	\$ 79.6	\$ 97.3	\$ 129.0	\$ 222.0	\$ 158.6	\$ 223.5	\$ 241.2
65	\$ 77.7	\$ 94.0	\$ 126.6	\$ 229.3	\$ 162.9	\$ 228.6	\$ 253.2
70	\$ 76.6	\$ 93.3	\$ 124.4	\$ 236.2	\$ 168.6	\$ 236.9	\$ 261.2
75	\$ 75.4	\$ 90.8	\$ 120.8	\$ 242.1	\$ 169.9	\$ 241.6	\$ 273.1
80	\$ 74.2	\$ 89.2	\$ 118.4	\$ 248.3	\$ 174.6	\$ 246.1	\$ 286.1
85	\$ 73.5	\$ 88.3	\$ 117.1	\$ 254.4	\$ 179.2	\$ 254.2	\$ 303.9

La construcción del nuevo pavimento y la ampliación de la vía tiene dos efectos combinados sobre los costos de operación de los vehículos. Por una parte, el nuevo pavimento ofrecería un mejor índice de servicio y una baja rugosidad superficial con lo cual los vehículos experimentarían menor costo de operación y mayores velocidades (en función del índice de rugosidad superficial IRI). Por otra parte, la

existencia de tres carriles por sentido ofrecería más confortabilidad de viaje (mayor nivel de servicio), más capacidad y mayor oportunidad de lograr velocidades promedio mayores. Sin embargo este último factor no se toma en cuenta en la evaluación de beneficios, ya que para efectos comparativos todas las alternativas en asfalto u hormigón presentan el mismo efecto sobre el flujo de vehículos.

El efecto que tiene el tipo de pavimento y su proceso de deterioro en los costos de operación se valora mediante una relación entre la rugosidad superficial (IRI) medida en metros por kilómetro y un factor que afecta a los costos de operación. Estos factores fueron obtenidos de un estudio sobre pavimentos y rugosidad realizado en Chile y presentado en el Séptimo Congreso Iberoamericano del Asfalto (Bolivia, 1993). La relación entre IRI y factor de sobrecosto de operación por tipo de vehículo se presenta en la tabla 4.2.

TABLA 4.2

COSTO DE OPERACIÓN SEGÚN ÍNDICE DE RUGOSIDAD PARA 1.000 KM DE RECORRIDO Y AUMENTOS PORCENTUALES RESPECTO A COSTO BASE(*)

IRI	autos	%	carga liviana	%	camión simple	%	autobús	%	camión articulado	%
1.0	\$141.9	-	\$152.9	-	\$242.3	-	\$582.0	-	\$606.9	-
1.4	\$142.5	0.4	\$153.6	0.5	\$252.2	4.1	\$594.1	2.1	\$613.6	1.1
1.8	\$143.2	0.9	\$154.7	1.2	\$262.2	8.2	\$607.1	4.3	\$621.8	2.5
2.2	\$144.1	1.6	\$156.2	2.2	\$272.5	12.5	\$621.0	6.7	\$631.2	4.0
2.6	\$145.3	2.4	\$158	3.4	\$283.0	16.8	\$635.6	9.2	\$641.7	5.8
3.0	\$146.6	3.3	\$160.2	4.8	\$293.6	21.2	\$651.0	11.8	\$653.3	7.7
3.4	\$148.1	4.3	\$162.7	6.4	\$304.5	25.7	\$667.0	14.6	\$666.0	9.8

(*): basado en estudio de Chile (Videla, Echeverría & Gaete)

4.1.1 Resistencia al Rodaje

Existe un efecto de resistencia a rodar que se presenta en los vehículos pesados que viajan sobre pavimentos de tipo flexible. Esta resistencia a rodar se debe a que las llantas se hunden ligeramente en el pavimento flexible y tienen que vencer la resistencia que supone esta deformación. En el pavimento rígido este fenómeno no se presenta y por ello esto implica un ahorro en los costos de operación de los vehículos pesados.

No obstante lo anterior, debido a que el pavimento asfáltico que se diseñó para esta autopista es de tipo semi-rígido (con base estabilizada con cemento Portland), el fenómeno de hundimiento de las llantas no se presentaría. Esto se comprobó al analizar las deflexiones que producen las llantas de los camiones pesados en la estructura del pavimento semi-rígido propuesto. En este cálculo se utilizó un eje con una carga de 15.000 libras (6.800 Kg), que corresponde a los ejes de los

camiones pesados de tres y cinco ejes. Se hizo un análisis multicapa elástico y se calculó la pendiente de la deformada, incorporando el efecto del cambio de temperatura en la respuesta elástica del pavimento. La magnitud de las pendientes producidas por la deflexión fue despreciable (entre 0.0001 y 0.002 como máxima) y no producirían una diferencia entre el costo de operación vehicular en este pavimento flexible y el rígido.

En el anexo A se presentan algunos datos calculados de pendiente bajo la llanta de vehículos pesados en el pavimento asfáltico. En ningún caso se encontró una pendiente de tal magnitud que signifique una diferencia en los costos de operación de los vehículos pesados, consecuencia de dicho fenómeno.

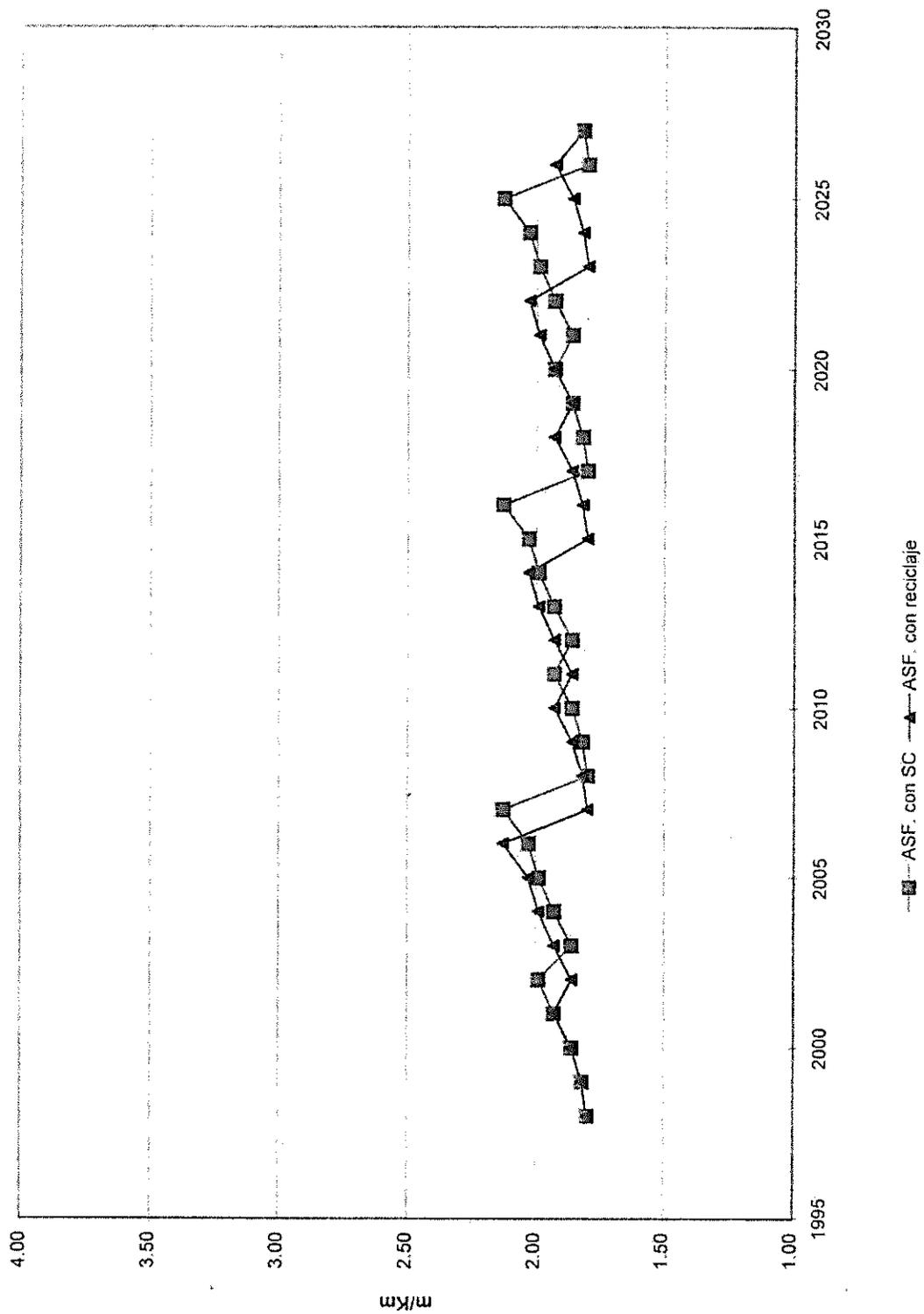
4.1.2 Efecto de la Rugosidad Superficial

La aplicación de los modelos de deterioro y las políticas de rehabilitación y mantenimiento permitieron crear un escenario de la rugosidad superficial estimada para cada alternativa a evaluar. Esta rugosidad superficial (que varía cada año) fue utilizada para calcular el costo de operación del tránsito promedio anual en la carretera para cada año. Estos datos se incorporan directamente al análisis económico y constituyen una de las diferencias importantes entre una alternativa y otra.

Las Figuras 4.1 y 4.2 muestran los perfiles de variación de la rugosidad (en términos del Índice de Rugosidad Internacional "IRI") para las diferentes alternativas de pavimentos analizadas en este estudio. La Figura 4.1 muestra el perfil para las alternativas de pavimento asfáltico. En el caso del pavimento rígido, la Figura 4.2 muestra la variación de la rugosidad para cada uno de los tres carriles para tres alternativas de espesor de pavimento. La curva que alcanza el valor más alto de IRI es la correspondiente al carril derecho que soportaría más cargas durante el periodo de análisis.

FIGURA 4.1

Variación del Índice de Rugosidad IRI Alternativas en Asfalto



4.2 VALOR DEL TIEMPO DE VIAJE

Otro parámetro básico en la decisión económica de inversiones en transporte es el valor del tiempo de viaje del usuario. En este caso se consideró el retraso o tiempo de viaje adicional que produce la congestión inducida por cada uno de los trabajos de mantenimiento vial que requieren los pavimentos (sobre todo el de tipo asfáltico). Es decir, el valor de lo que cuesta al conjunto de usuarios el retraso en su viaje debido al cierre parcial de la carretera para efectuar trabajos de rehabilitación.

El valor del tiempo de viaje de los usuarios de la autopista General Cañas fue analizado por la consultora L.C.R. Logística S.A. en el estudio para concesión de la ampliación de la obra. Este análisis se basó en una encuesta ejecutada a los conductores que pasaron por el sitio de peaje en septiembre de 1996.

Durante la ejecución de la encuesta, los usuarios fueron enfrentados directamente a la pregunta "Cuál valor asigna usted al tiempo ahorrado por usar esta autopista" y de las respuestas de más de 600 usuarios se construyó el siguiente modelo de regresión logarítmica para el valor del tiempo de viaje ahorrado.

$$V = -87 + 83.9 \cdot \ln(t)$$

donde: V= Valor en colones a septiembre de 1996
 t= tiempo ahorrado por la carretera en minutos

Esta relación significa que aproximadamente 10 minutos de ahorro de tiempo de viaje tienen un valor de 100 colones -en septiembre de 1996- para el usuario de automóvil. No se calibró ninguna relación para los usuarios de transporte público en autobús, pero se supone que tendría una magnitud menor que la de los usuarios de vehículo particular. Para efecto de cálculo en el análisis de costo de la congestión, el valor del tiempo de viaje de pasajeros de autobús es un cuarto del valor hallado para los conductores de vehículos particulares. Para los vehículos particulares se usó un factor de ocupación 1.2 personas por vehículo y de 15 pasajeros para el autobús.

El tiempo de viaje de los vehículos de carga se valoró igual que el de los automóviles; esto no necesariamente es correcto, porque los retrasos en el sistema de transporte de carga pueden tener externalidades importantes en el funcionamiento de las industrias que dependen de este transporte. Sin embargo, es muy difícil estimar y asignar costos a estas externalidades producidas por la congestión.

El modelo para valorar la congestión que producen las labores de conservación y mantenimiento es bastante simplificado y se limita a suponer que la velocidad media de flujo en toda la autopista pasaría de

85 Kph a 60 Kph durante los días que se están efectuando labores de mantenimiento por tramos. Este supuesto se basa en que la autopista nunca podría ser cerrada completamente debido a su importancia en la red vial del Gran Area Metropolitana.

Teniendo en cuenta la posibilidad y la conveniencia de que parte de los trabajos de rehabilitación se realicen en periodos nocturnos y en fines de semana, se estimaron razonables las siguientes hipótesis al estimar el costo de la congestión. Por ejemplo, no se toma en cuenta la posible desviación de cierta cantidad de usuarios que tomarían rutas alternas de mayor longitud y menor velocidad para hacer el viaje cuando se realice la rehabilitación. Tampoco se consideró las demoras de los vehículos en los accesos que comunican con la autopista General Cañas. Además, se supuso que la congestión solo afectaría al 70% del tránsito diario para incluir solamente los periodos pico de uso de la autopista y no todo el día completo.

Las externalidades producidas por los trabajos de rehabilitación en las actividades comerciales e industriales próximas a la autopista tampoco fueron consideradas. La razón para no hacerlo se fundamenta en la imposibilidad de su cálculo preciso, sin embargo, estas externalidades son una realidad palpable según las quejas que han presentado algunos comerciantes respecto a los problemas y disminución de actividad que les ha causado la construcción del puente entre San Antonio y Barreal (Intersección Cariari).

La suposición de que la velocidad media en la autopista pasaría de 85 kph a 60 kph es conservadora porque esto significa una demora de 4 minutos durante el recorrido total. En la realidad esta demora podría llegar hasta 10 minutos con gran facilidad y la velocidad media podría ser de 45 kph o menor cuando hay congestión vial. Estas últimas condiciones permiten hacer otro cálculo menos conservador de la congestión que se utiliza adelante como una alternativa más. No obstante, queda la opción administrativa de realizar parte de los trabajos de rehabilitación en horario nocturno lo que podría justificar usar los costos conservadores de la congestión.

El procedimiento de estimación del costo de la congestión consistió en sumar el costo adicional de operación de todos los vehículos que pasarían anualmente por la carretera por la menor velocidad de viaje y por el tiempo de viaje perdido en demora. Los valores resultantes para cada año se presentan en la sección 6 donde se definen totalmente las actividades y las cantidades de mantenimiento para cada alternativa. En el anexo C se incluyen los datos anuales de costo de operación en función de la rugosidad del pavimento.

Finalmente, cabe aclarar, que posteriormente en este estudio se hace un análisis de sensibilidad del costo de la congestión en su influencia sobre los resultados económicos de cada opción de pavimento.

4.3 EFECTO EN LA SEGURIDAD VIAL

Otro aspecto a tomar en cuenta en la evaluación económica es el de seguridad vial. El efecto del proyecto sobre el nivel de accidentabilidad puede ser valorado en términos económicos (cuando existe una buena estadística sobre la ocurrencia y el costo de los accidentes viales en la zona).

En este estudio no se considera este efecto debido a que se compara solamente diversas alternativas de pavimentos que no tienen efecto directo sobre el nivel de accidentes, sin embargo, algunos analistas señalan que los pavimentos rígidos tienen mejores condiciones de visibilidad en las noches o durante la lluvia y pueden ser ventajosos desde el punto de vista de seguridad vial respecto a los pavimentos asfálticos. Este aspecto no se considera en el análisis debido a que hay pocas evidencias documentadas al respecto, pero se toma en cuenta en la evaluación cualitativa.

Por otra parte, al tener en cuenta ambas alternativas de pavimento y su estrategia de conservación, la diferencia que podría presentarse en el índice de accidentes depende del coeficiente de rozamiento de la superficie del pavimento. En ambas alternativas este riesgo es similar dado que se practicarían labores de mantenimiento para mantener una rugosidad adecuada en todo momento.

La seguridad vial adecuada en la autopista dependería en mayor medida de que se construya mayor cantidad de puentes peatonales para evitar el conflicto entre peatones y los flujos crecientes de vehículos. Debe tomarse en cuenta que cruzar una autopista de seis carriles es de altísimo riesgo para el peatón en comparación con la situación de cuatro carriles existente actualmente. Sin embargo, este tema sale de los alcances de este estudio.

4.4 EFECTO EN EL CONSUMO ELECTRICO

La energía eléctrica requerida para iluminar una carretera es otro posible rubro a considerar en la evaluación económica del proyecto. El color claro de los pavimentos rígidos absorbe menos luz y permite utilizar lámparas de menor potencia lo que reduce el consumo respecto a un pavimento de color negro.

Según algunos estudios, el ahorro de energía al iluminar un pavimento de color claro puede llegar hasta 40% respecto a uno de tipo asfáltico. Sin embargo, al evaluar la energía eléctrica ahorrada por las 450 lámparas existentes en 12 horas de operación y 365 días por año a un costo de 15 colones por KWh, dicho monto resulta modesto en magnitud (unos \$15.000 dólares al año) respecto a la magnitud de otros rubros y

no tiene influencia decisiva en el análisis económico. Por lo tanto, se decidió no incluirlo en el estudio económico ya que resulta poco probable que se decida cambiar las lámparas que fueron adquiridas tiempo atrás por otras más económicas.

No obstante, este factor también debe ser tomado en cuenta en la evaluación cualitativa complementaria del análisis económico y podría cobrar mayor importancia en el futuro si las tarifas eléctricas suben o si la demanda energética crece más rápidamente que lo planificado.

5. COSTO CONSTRUCTIVO

El análisis económico de las alternativas de pavimento requiere como entrada los datos de costo de las inversiones recurrentes y no recurrentes durante la vida útil del proyecto. Debido a esto se calcularon los costos correspondientes a la construcción de tres carriles en la autopista para las dos alternativas principales y los costos de las alternativas de mantenimiento y rehabilitación. Estos costos fueron transformados a dólares americanos para evitar que los montos se desactualicen por efecto de la devaluación del colón.

5.1 COSTO INICIAL DE LAS ALTERNATIVAS DE PAVIMENTO

El costo de construcción de las dos alternativas principales fue estimado para utilizarlo como inversión inicial del flujo de caja del proyecto. El pavimento asfáltico se diseñó con 23 cm de base estabilizada con cemento y 17 cm de carpeta de pavimento asfáltico en caliente. El pavimento rígido consiste en la construcción de 23 cm de base estabilizada y 25 cm de concreto de cemento Portland. Para efecto de este análisis, se supuso que ambas alternativas pueden ser construidas en un plazo menor de 12 meses y así se utiliza en el análisis económico.

En el análisis de sensibilidad de los resultados económicos se usaron dos alternativas de espesor para el pavimento rígido, a saber, uno de 26.5 cm y otro de 28 cm. Estas dos alternativas tienen costos constructivos diferentes debido al mayor espesor de losa de concreto, pero el resto de su estructura es idéntica.

No se incluyó el rubro correspondiente a reajuste de precios porque se utilizan los costos en dólares americanos (que no cambian de valor tan rápidamente como el colón) y además no sería necesario este tipo de ajuste en el caso de que el proyecto se desarrolle por concesión. Los costos estimados para cada una de las opciones fueron los siguientes:

TABLA 5.1
COSTO CONSTRUCTIVO DE LAS ALTERNATIVAS DE PAVIMENTO EN SEIS CARRILES

ALTERNATIVA DE PAVIMENTO	COSTO DE CONSTRUCCION (**)
Asfáltico	C 1.485 millones o \$ 6.37 millones
Rígido de 25 cm	C 1.839 millones o \$ 8.85 millones
Rígido de 26.5 cm (*)	\$ 9.25 millones
Rígido de 28 cm (*)	\$ 9.65 millones

(*): Espesores alternativos para análisis económico.

(**): No incluye costo de terracería ni de movimiento de tierra

Los respectivos detalles de cantidades y costos unitarios utilizados en cada caso se presentan en el Anexo B al final de este informe.

5.2 COSTO DE ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO RUTINARIO

Para estimar los costos de rehabilitación y mantenimiento se utilizaron costos reales de ofertas hechas al M.O.P.T. para el mantenimiento de carreteras en noviembre de 1996. Allí se incluían labores tales como bacheo menor, bacheo mayor, colocación y compactación de pavimento asfáltico, reciclaje, entre otros rubros de acuerdo al formato del Código de Especificaciones para Carreteras CR-77. La tabla 5.2 muestra algunos los costos utilizados para estimar el costo de labores de mantenimiento.

TABLA 5.2
COSTO UNITARIOS BASE PARA CALCULO DE COSTO DEL MANTENIMIENTO

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO O DE CONSTRUCCION	Costo Unitario (colones nov 96)	Costo Unitario (dólares)
Bacheo menor	C 38.000/m3	\$173.5/m3
Bacheo mayor	C 32.000/m3	\$146.1/m3
Colocación de pav. bituminoso	C 4.400/ton	\$20.1/ton
Escarificación y transporte	C 400/m2	\$1.83/m2
Asfalto líquido	C 65/l	\$0.29/l
Emulsión asfáltica	C 66/l	\$0.30/l
Riego de liga	C 66/l	\$0.30/l

5.2.1 Mantenimiento Rutinario para el Pavimento Asfáltico

El mantenimiento rutinario de la autopista tiene dos componentes: uno es común a cualquiera de las alternativas de pavimento y el otro componente difiere según la naturaleza del pavimento. El componente común consiste de las labores rutinarias de limpieza de drenajes, corte de vegetación, eliminación de obstáculos y escombros, mantenimiento del señalamiento horizontal y vertical, entre otras. Este componente común no se valora ni se utiliza en el análisis económico comparativo porque al tener la misma magnitud se elimina entre las alternativas.

El componente de costo de mantenimiento que es diferente según la alternativa se debe a la necesidad de limpieza, bacheo y llenado de grietas en el pavimento asfáltico, o limpieza y sellado de las juntas y la reposición de losas fracturadas para el caso del pavimento rígido.

Se estimó el costo de efectuar el mantenimiento rutinario del pavimento asfáltico según el modelo de mantenimiento de la tabla siguiente.

TABLA 5.3
MODELO DE MANTENIMIENTO RUTINARIO PARA PAVIMENTO ASFALTICO
 (se repite igual en forma cíclica)

Año	Porcentaje de Area a Bachear con Mezcla Asfáltica	Longitud de Grietas de 1 cm a Rellenar con Asfalto
1	0	0
2	0.1%	10 m/Km
3	0.25%	25 m/Km
4	0.37%	50 m/Km
5	0.60%	100 m/Km

Los costos asociados con este tipo de mantenimiento fueron calculados a partir de cotizaciones hechas al MOPT en 1996 y se presentan a continuación:

TABLA 5.4

COSTO DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO RUTINARIO PARA PAVIMENTO ASFALTICO
(se repite igual en forma cíclica)

Año	Costo del bacheo (US\$)	Costo de rellenar grietas del pavimento asfáltico (US\$)
1	0	0
2	\$8.750	\$1.500
3	\$21.875	\$2.000
4	\$32.900	\$2.900
5	\$54.250	\$5.950

5.2.2 Mantenimiento rutinario para el pavimento rígido

El pavimento rígido requiere del mantenimiento frecuente de las juntas entre losas para evitar la entrada de agua y otros contaminantes, así como de la reparación de algunas losas que pudiesen agrietarse con el paso de camiones pesados. Suponiendo un espaciamiento entre juntas transversales de 4.5 m y la existencia de dos juntas longitudinales y dos laterales en cada sentido de la autopista, la longitud total de juntas por kilómetro de autopista es de 12.400 metros lineales.

El modelo propuesto para valorar este tipo de mantenimiento es el siguiente:

TABLA 5.5

MODELO PARA EL MANTENIMIENTO RUTINARIO DEL PAVIMENTO RIGIDO

Año	Porcentaje de Juntas a Rellenar (anual)	Año	Losas a Reparar (cantidad total)
0	0	0	0
1	5%	5	4
2	10%	10	7
3	20%	15	12
4	35%	20	18
5	35% sigue constante	25	30

Los costos asociados para realizar el mantenimiento rutinario según el modelo presentado se muestran en la tabla siguiente.

TABLA 5.6
COSTO DEL MANTENIMIENTO RUTINARIO DEL PAVIMENTO RIGIDO

Año	Costo de Relleno de Juntas (US\$)	Año	Costo Reparación de Losas (US\$)
1	\$2.600	0	0
2	\$5.300	5	\$2.920
3	\$10.500	10	\$5.110
4	\$18.500	15	\$8.760
5	\$18.500	20	\$13.140
6...	\$18.500 constante	25	\$21.900

5.3 COSTO DEL MANTENIMIENTO PERIODICO

El pavimento asfáltico requiere de una activa política de mantenimiento para conservar sus características de servicio en óptima condición. Se crearon dos estrategias de mantenimiento y una variante para el pavimento asfáltico y una sola estrategia para el rígido. Estos trabajos fueron calculados en sus costos e incluidos en el análisis económico (consultar la sección 2 sobre modelos de deterioro). A continuación se presentan los plazos y costos básicos estimados para cada actividad típica de rehabilitación.

TABLA 5.7
DETALLE DE PLAZO Y COSTO DE ACTIVIDADES DE REHABILITACION

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO PERIODICO	TIEMPO DE EJECUCION PARA TODA LA AUTOPISTA 13.5 Km*	COSTO DE CONSTRUCCION
Colocación de capa delgada de 5 cm	50 días	\$898.000
Colocación de capa de refuerzo de 3 cm con polímero	40 días	\$898.000
Colocación de capa de refuerzo de 8 cm	75 días	\$1.351.500
Reconstrucción de medianera	40 días	\$450.000
Reciclaje de pavimento y recolocación del asfalto	105 días	\$2.213.500
Colocación de sobrecapa de concreto (Whitetopping)	120 días	\$5.320.000

(*): No incluye longitud de puentes existentes.

Los plazos estimados suponen que se trabaja por tramos de avance de 1.5 a 2 Km de longitud, con un solo frente de trabajo y que las jornadas de trabajo se extienden en la noche. Esto tiene por objetivo reducir el impacto de la interrupción sobre el flujo de vehículos.

Los detalles de cálculo de estos costos de congestión y de construcción se pueden consultar en el anexo C, al final de este reporte.

6. IMPACTO DEL MANTENIMIENTO Y REHABILITACION

6.1 COSTO DE LA CONGESTION

El efecto de las diferentes políticas de mantenimiento del pavimento se valoró para cada alternativa conforme los parámetros analizados en la sección 4. Se utilizó un modelo que supone que los trabajos de colocación de capas delgadas, carpetas o reciclaje y colocación de carpeta se realizarían por tramos que serían cerrados en la autopista. La autopista no podría ser cerrada totalmente debido a su función primordial dentro del sistema de transporte del Gran Area Metropolitana.

La suposición básica es que se cerraría uno de los sentidos de viaje en un segmento de 1.5 a 2 Km de longitud que sería el área de trabajo. Se trabajaría en dos carriles y el tercero se utilizaría como acceso al sitio de mantenimiento. El tránsito debería ser desviado y encausado por un solo sentido de la autopista, asignando dos carriles para un sentido de viaje y uno en el otro sentido.

Este modelo implica reducir la velocidad de recorrido de 85 Kph a 30 Kph en el tramo de la ejecución de mantenimiento y un segmento adicional por efecto de rebote. Este análisis lleva a concluir que la velocidad promedio de viaje en los 14.2 Km de la autopista cambiaría de 85 Kph a 60 Kph durante la ejecución de labores de mantenimiento. Esta reducción de la velocidad media implicaría mayores costos de operación de los vehículos, mayores tiempos de viaje para los usuarios de automóvil y autobús y el posible desvío de algunos usuarios por otras rutas alternas donde también experimentarían mayores costos de operación y tiempo de viaje.

Usando el modelo anterior se pudo llegar a obtener el costo adicional por día que implica realizar las labores de mantenimiento y rehabilitación en la autopista según el tránsito promedio anual durante la vida útil del pavimento. Este costo se utilizó para calcular el valor total de congestión que produce cada tipo de labor de mantenimiento según el plazo estimado para ejecutar ésta. Las labores de mantenimiento podrían realizarse más rápidamente si fuera posible trabajar en turnos nocturnos o con dos frentes de trabajo, sin embargo lo primero significa costos constructivos más altos y lo segundo no puede aplicarse porque produciría demasiada congestión simultánea en la autopista.

Los resultados de esta evaluación se presentan en la tabla 6.1. Nótese que el costo de congestión aumenta con el tiempo debido a la mayor cantidad de usuarios de vehículo que son afectados por las labores de mantenimiento.

TABLA 6.1
COSTO DE LA CONGESTION POR EL IMPACTO DEL MANTENIMIENTO PARA VARIOS AÑOS

LABOR DE MANTENIMIENTO	Plazo estimado	Costo en el año 2000(\$)	Costo en el año 2004(\$)	Costo en el año 2008
Colocar capa delgada de asfalto	50 días hábiles	\$401.500	\$443.900	\$559.500
Colocar microcapa	40 días	\$321.200	\$347.120	\$447.600
Colocar sobrecapa	75 días	\$602.250	\$650.850	\$839.250
Reciclar 8 cm y colocar 12 cm	110 días	\$883.300	\$954.580	\$1.230.900
Bacheo mayor	en las noches	no produce congestión	no	no
Llenado de grietas	en las noches	no produce congestión	no	no
Sobrecapa de concreto (WHITETOPPING)	120 días	\$963.600	\$1.041.360	\$1.342.800

6.2 COSTO INDIRECTO DE LA CONTRATACION

Todas las labores de mantenimiento que contrata el Estado deben apegarse a los procedimientos del Reglamento de Contratación Administrativa de la República. Esto implica la ejecución de un proceso administrativo para solicitar, recibir, evaluar, adjudicar e inspeccionar el contrato, lo cual toma tiempo y recursos al Estado. Si estas labores fueran encargadas a una empresa concesionaria, también demandarían atención y recursos para su administración. Igualmente, si el trabajo lo hace la misma empresa se incurre en un costo de atención administrativa, control de calidad e inspección.

Por tanto, en toda contratación hay un costo implícito por los recursos y la atención que debe ponerse al proceso, adicionalmente hay un costo de oportunidad implícito, ya que el personal podría utilizar ese tiempo para atender otros asuntos de la red vial. Este costo adicional se estimó en 5% del monto del contrato para todos los casos de labores de mantenimiento.

Aún cuando el proceso de contratación se realice por parte de una empresa particular que administre la carretera por concesión, estos costos indirectos siguen existiendo en una magnitud similar y deben ser tomados en cuenta.

6.3 VALOR DE RECUPERACION DEL PAVIMENTO

El análisis económico toma en cuenta el valor residual de la obra que se está evaluando en el último año del flujo de fondos de la misma. Este valor corresponde al remanente del valor del pavimento al final de cada periodo de análisis. Debido a esta necesidad se diseñó un método para calcular este valor residual para cada alternativa propuesta en este estudio.

6.3.1 Pavimento Rígido

El valor residual de este tipo de pavimento se calculó estimando el costo de reconstrucción al final del periodo de análisis para restaurar el pavimento en su capacidad estructural. Para ello se utilizó el modelo EXPEAR para pavimentos rígidos. De esto se dedujo que el pavimento rígido requiere la reparación de unas 30 losas dañadas y la colocación de una capa de hormigón de 20 cm sobre la existente para restaurar su capacidad en el año 2019 (22 años de servicio). También sería necesario levantar la barrera medianera de la carretera al colocar el nuevo pavimento que dejaría el nivel final más alto. El valor residual sería entonces el valor constructivo inicial menos el costo de la reparación en el último año.

Para los años de servicio 15 y 30, se usó el valor proporcional remanente del valor del pavimento nuevo después de aplicar una depreciación proporcional al gasto o consumo del índice de rugosidad del carril derecho. Los valores de rescate de la estructura de pavimento para cada alternativa se presentan en la tabla 6.2.

6.3.2 Pavimento Asfáltico

El valor residual del pavimento asfáltico se calculó bajo el mismo principio, es decir, restar del valor inicial de construcción el valor de la reparación o rehabilitación necesaria en el último año para restaurar su capacidad estructural. Este análisis se realizó mediante el método de diseño del AASHTO para el pavimento asfáltico y predijo las necesidades que se presentan en la Tabla 6.2 para los diferentes periodos de análisis.

TABLA 6.2
LABOR DE REHABILITACION REQUERIDA PARA RESTAURAR EL PAVIMENTO AL FINAL DEL PERIODO DE ANALISIS

Tipo de pavimento	Periodo 15 años	Periodo 22 años	Periodo 30 años
Asfáltico con sobrecapas	capa asfáltica de 5 cm	capa asfáltica de 4 cm	capa asfáltica de 5 cm
Asfáltico y reciclaje	reciclaje de 7 cm y capa de 10 cm	capa asfáltica de 6 cm	reciclaje de 7 cm y capa de 10 cm
Rígido	reparar losas	sobrecapa 20 cm	reparar losas

Es necesario destacar que el pavimento rígido tiene mayor valor residual que el asfáltico en el caso de que no se haga el último trabajo de rehabilitación al final del periodo de análisis. Esto es una ventaja para el Estado en la alternativa de pavimento rígido, si por falta de recursos no se realiza esta última labor de rehabilitación.

Los valores residuales calculados mediante la metodología descrita anteriormente se presentan en la tabla 6.3 a continuación.

TABLA 6.3
VALOR DE RESCATE DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

Alternativa de Pavimento	Valor de Rescate a 15 años (millones)*	Valor de Rescate a 22 años (millones)	Valor de Rescate a 30 años (millones)
Asfáltico con sobrecapas	\$5.47	\$5.02	\$5.50
Asfáltico con microcapas	\$5.47	\$5.02	\$5.50
Asfáltico y reciclaje	\$4.38	\$4.73	\$4.47
Rígido de 25 cm	\$4.98	\$3.51	\$5.81
Rígido de 26.5 cm	\$5.38	\$3.91	\$6.28
Rígido de 28 cm	\$5.78	\$4.31	\$7.35

(*): no incluye ningún tipo de rehabilitación para pavimento rígido

7. EVALUACION ECONOMICA DE ALTERNATIVAS

7.1 PARAMETROS ECONOMICOS BASICOS

La comparación entre alternativas de pavimento se realiza mediante un análisis económico de los flujos de caja resultantes después de incluir los costos recurrentes y no recurrentes de cada pavimento. El valor actual neto de cada alternativa se calcula para varias tasas de interés, a saber, entre 5% y 25% para cubrir el rango de las tasas posibles (pasivas y activas) del mercado mundial en dólares americanos.

Los valores actuales netos resultantes son negativos porque la mayor parte del flujo de dinero de cada alternativa se compone de gastos e inversiones. Solamente el valor de rescate es positivo en el flujo de caja. En este análisis con valores negativos, la alternativa más favorable es la de mayor valor actual neto (el menor valor negativo).

Debido a que en este estudio no hay alternativa nula para usarla como base de comparación, (ya que no es una buena opción dejar la autopista tal como está ahora), se realiza un análisis comparativo entre alternativas. Para ello se sustraen los flujos de caja de las dos opciones que se comparan para obtener el flujo neto de caja de una opción menos otra.

Los costos fueron calculados en colones de noviembre de 1996 y transformados a sus costos equivalentes en dólares de ese mes según una relación de intercambio entre monedas de 219 colones por dólar de Los Estados Unidos. Con esto se quiere contar con un presupuesto válido por más de un año sin que se desactualice por la inflación en Costa Rica.

Las tablas 7.1 a 7.6 contienen los datos de flujo de caja para cada alternativa. En estas tablas cada columna representa un tipo de costo diferente. En la Figura 7.1 se comparan los valores descontados para las alternativas. En las Figuras 7.2, 7.3 Y 7.4 se muestran las curvas de variación del valor actual neto con la tasa de interés de las alternativas comparadas.

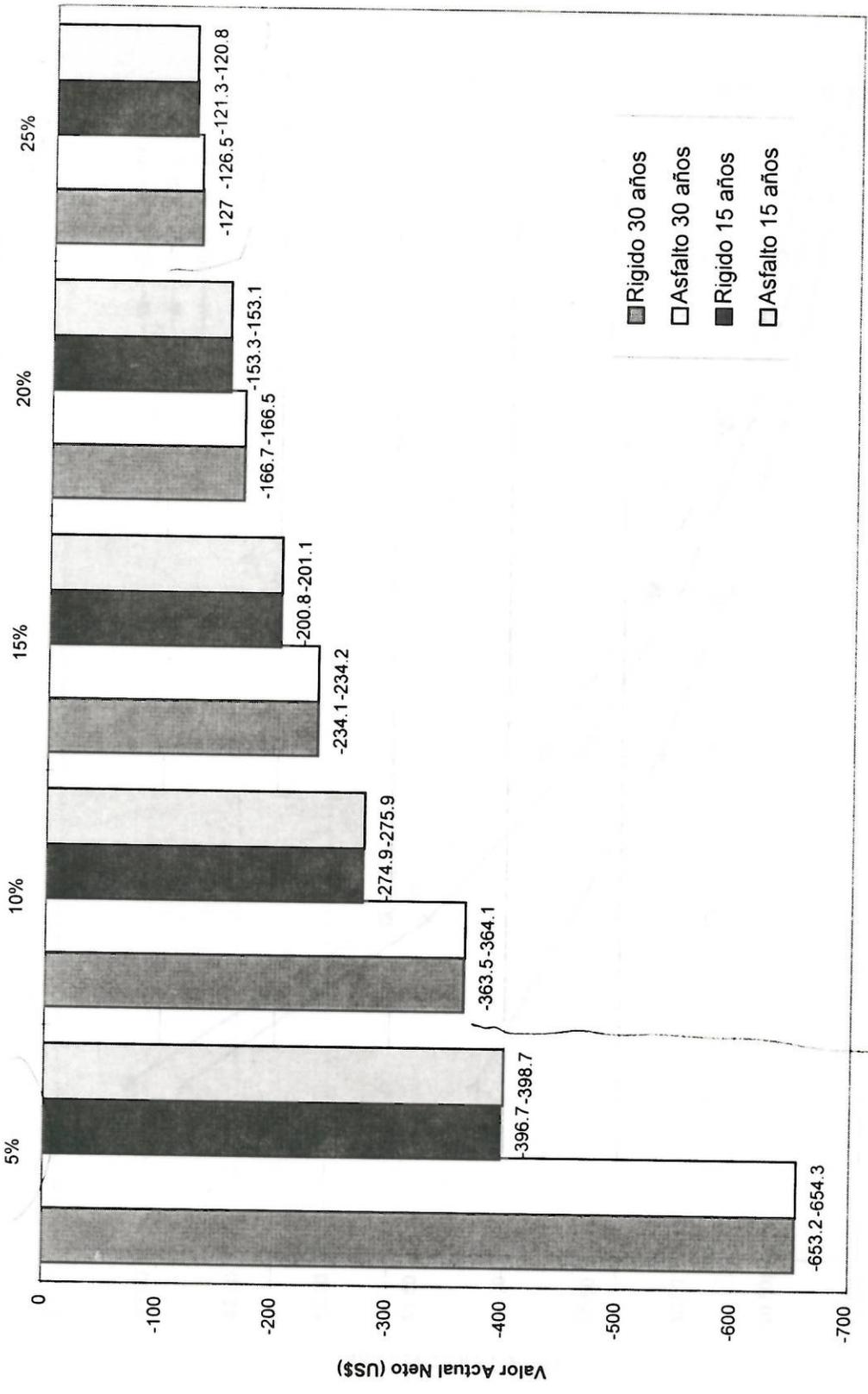
En el anexo D se incluyen otras figuras y tablas de resultados económicos comparativos y absolutos.

TABLA 7.5

Hoja de Analisis Economico - todo en millones de dolares anuales-		RIGIDO 26.5 cm									
Alternativa	Año	Inversion Inicial	Costo de Operacion	Costo de reconstr. y medianera	Costo de Congestion	Costo Mantenimia Residual	Valor Residual	Flujo Neto 30 años	22 años	15 años	
	0	-9.25				0.000		-9.250	(9.25)	(9.25)	
	1		-33.13			0.000		-33.130	(33.13)	(33.13)	
	2		-34.72			-0.003		-34.718	(34.72)	(34.72)	
	3		-36.30			-0.005		-36.305	(36.31)	(36.31)	
	4		-37.00			-0.011		-37.011	(37.01)	(37.01)	
	5		-37.70			-0.021		-37.721	(37.72)	(37.72)	
	6		-38.53			-0.019		-38.552	(38.55)	(38.55)	
	7		-39.37			-0.019		-39.386	(39.39)	(39.39)	
	8		-40.15			-0.019		-40.166	(40.17)	(40.17)	
	9		-40.93			-0.019		-40.946	(40.95)	(40.95)	
	10		-41.87			-0.023		-41.889	(41.89)	(41.89)	
	11		-42.81			-0.019		-42.824	(42.82)	(42.82)	
	12		-43.68			-0.019		-43.700	(43.70)	(43.70)	
	13		-44.56			-0.019		-44.577	(44.58)	(44.58)	
	14		-45.73			-0.019		-45.744	(45.74)	(45.74)	
	15		-46.89			-0.027	5.38	-46.919	(46.92)	(46.92)	
	16		-47.85			-0.019		-47.871	(47.87)	(47.87)	
	17		-48.81			-0.019		-48.832	(48.83)	(48.83)	
	18		-49.83			-0.019		-49.847	(49.85)	(49.85)	
	19		-50.84			-0.019		-50.862	(50.86)	(50.86)	
	20		-51.72			-0.033		-51.753	(51.75)	(51.75)	
	21		-52.55			-0.019		-52.573	(52.57)	(52.57)	
	22		-52.85	-6.45	-1.4	-0.019	3.91	-60.721	(56.81)	(56.81)	
	23		-53.15			0.000		-53.150			
	24		-55.12			0.000		-55.115			
	25		-57.08			-0.003		-57.083			
	26		-57.12			-0.005		-57.120			
	27		-57.15			-0.011		-57.161			
	28		-58.21			-0.019		-58.224			
	29		-59.26			-0.019		-59.279			
	30		-60.20			-0.079	6.28	-53.999			
									Valor Actual Neto		
							Tasa	30 años	22 años	15 años	
							5%	(\$653.31)	(\$533.59)	(\$396.01)	
							10%	(\$363.48)	(\$329.57)	(\$274.64)	
							15%	(\$234.07)	(\$223.81)	(\$200.77)	
							20%	(\$166.76)	(\$163.46)	(\$153.35)	

FIGURA 7.1

COMPARACION DE VALORES PRESENTES NETOS



Tasa de Interés

FIGURA 7.2

VARIACION DEL VALOR ACTUAL NETO PARA ALTERNATIVAS COMPARADAS

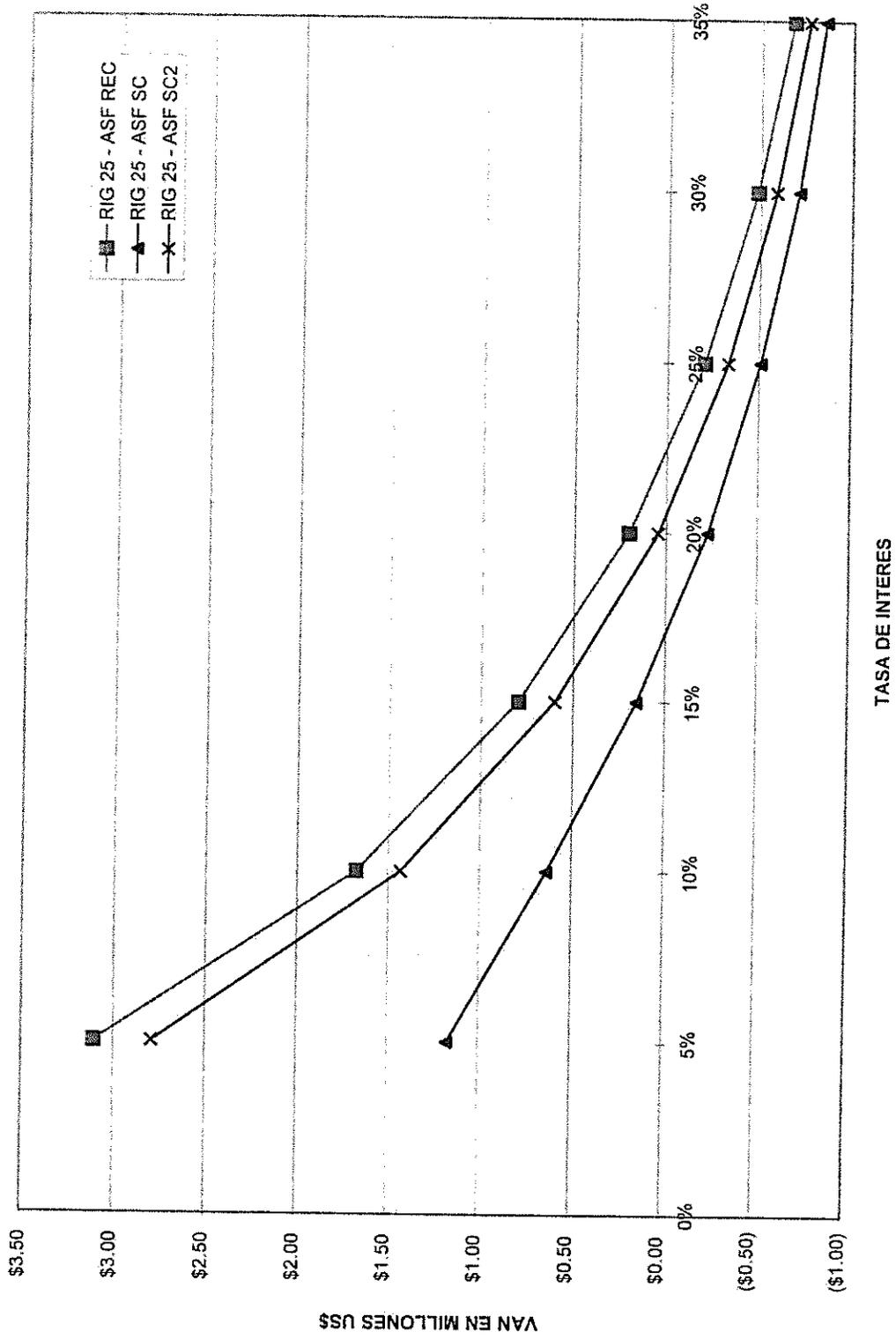
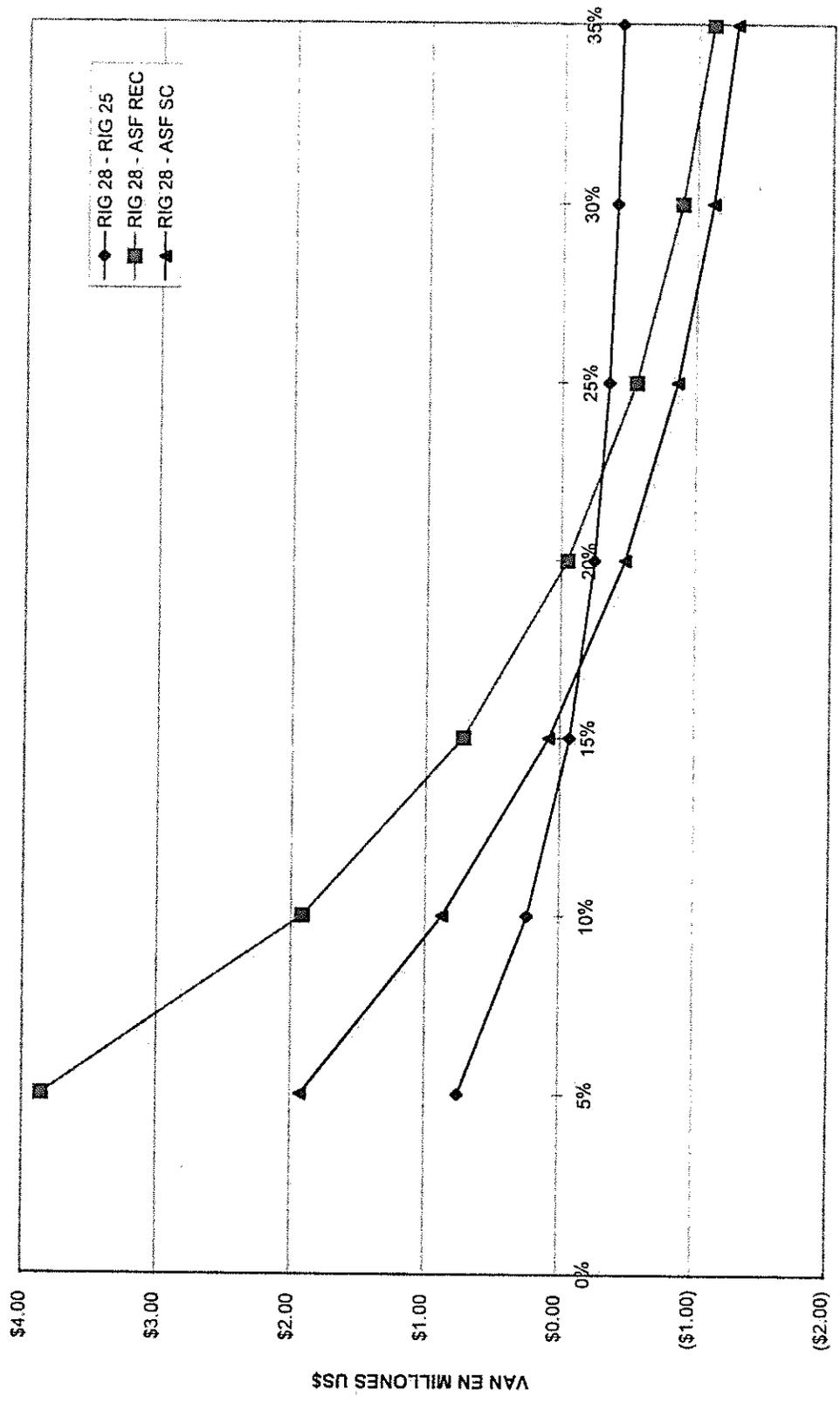


FIGURA 7.3

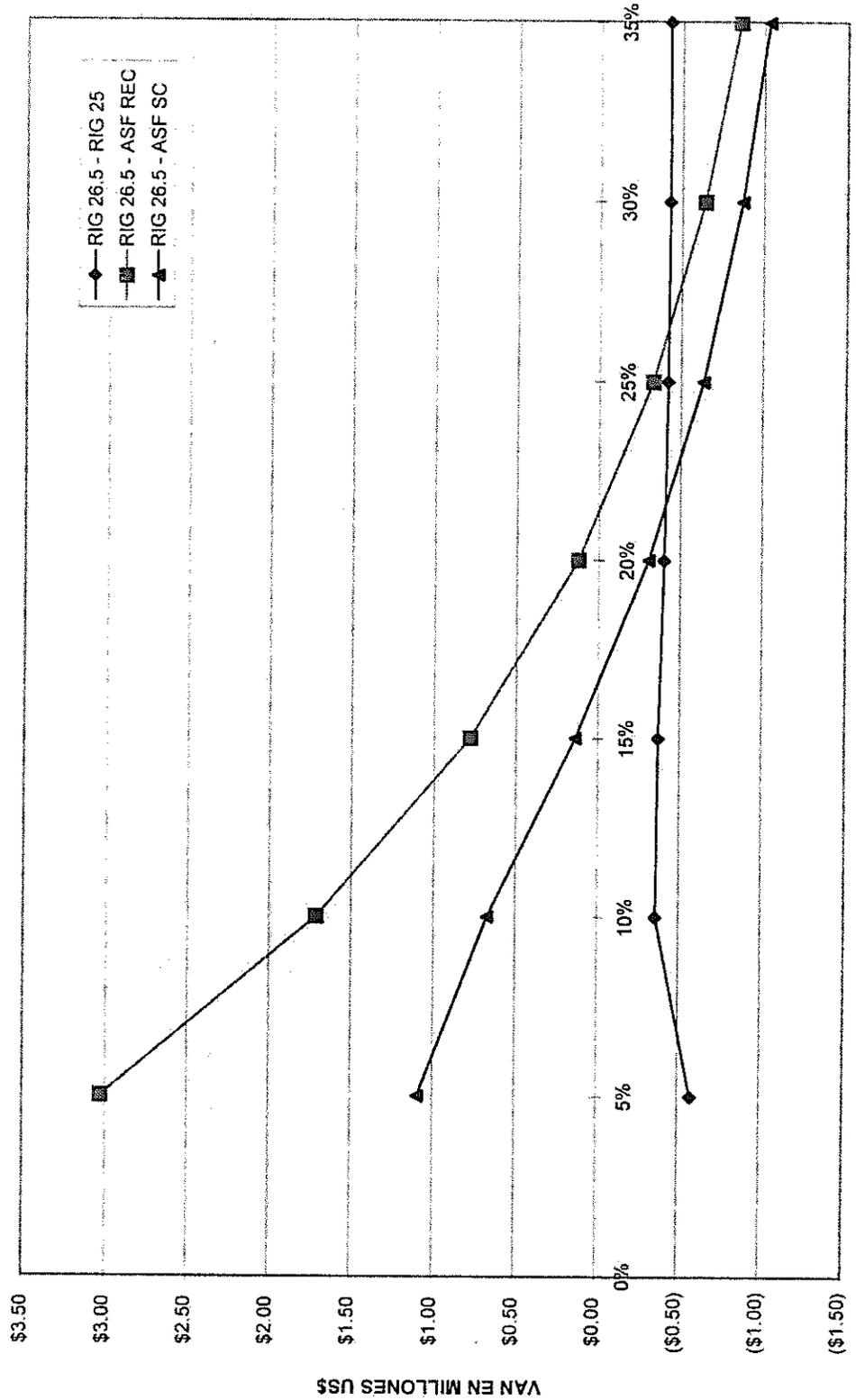
VARIACION DEL VALOR ACTUAL NETO PARA ALTERNATIVAS COMPARADAS



TASA DE INTERES

FIGURA 7.4

VARIACION DEL VALOR ACTUAL NETO PARA ALTERNATIVAS COMPARADAS



TASA DE INTERES

VAN EN MILLONES US\$

7.2 RESULTADOS ECONOMICOS

Los resultados de la evaluación económica comparativa indican que el pavimento rígido es ligeramente más favorable en cualquier plazo de análisis. La tasa interna de retorno al escoger el pavimento rígido respecto a cualquiera de las alternativas de pavimento asfáltico varía entre 16% y 22%, sin embargo, el valor actual descontado es bastante bajo. Esto indica que la ventaja del pavimento rígido respecto al asfáltico es de poca magnitud porque este último pavimento es de tipo semi-rígido.

Debido a la naturaleza del análisis incremental, las curvas de variación del valor actual neto indican que el pavimento rígido es mejor alternativa para tasas de interés de 19% o menores (en dólares). Para mayores tasas de interés resulta mejor alternativa el pavimento asfáltico semi-rígido, sin embargo la ventaja de una respecto a otra es muy baja. Se puede afirmar que desde la perspectiva única del análisis económico, las alternativas analizadas son casi equivalentes.

El mayor valor inicial del pavimento de concreto se compensa con el ahorro en los costos de operación vehicular para cada periodo de análisis y el ahorro en los costos de rehabilitación requeridos por el pavimento asfáltico. El flujo neto de caja está dominado por la magnitud de los costos anuales de operación vehicular y resulta poco sensible a los costos de congestión, rehabilitación y a los valores de rescate. Se demuestra así que el pavimento rígido aunque más costoso al inicio puede tener un mejor desempeño durante la vida útil del proyecto lo cual compensa el mayor costo inicial.

Las estrategia de rehabilitación con sobrecapas asfálticas es más económica que la estrategia de reciclaje de pavimento. Sin embargo, la diferencia entre ellas es poco significativa entre sí ya que como se mencionó, los costos de operación vehiculares dominan el flujo de caja de cada alternativa.

En cuanto a las alternativas de diferente espesor para pavimentos rígidos, la evaluación económica muestra una pequeña ventaja para el pavimento de 28 cm respecto al de 26.5 cm y 25 cm. Sin embargo, es una diferencia que se origina porque se puede retrasar la sobrecapa de refuerzo del año 22 al año 24 de servicio y porque el pavimento de 28 cm tendría una vida útil mayor. El espesor de 25 cm resultó equivalente en sus resultados económicos al de 26.5 cm, sin embargo, por razones técnicas de resistencia y durabilidad se recomienda el espesor mayor, bajo este enfoque de análisis económico que incluye los impactos sobre el usuario de la autopista.

La evaluación económica descrita incluyó los costos de congestión conservadores y no incluye las externalidades de la rehabilitación frecuente que tienen impacto sobre el comercio, la industria y los

usuarios porque son difíciles de cuantificar monetariamente. Todas estas externalidades se incluirían en las alternativas de pavimento asfáltico.

7.3 ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Esta sección analiza el efecto que tiene la variación de algunos parámetros sobre los resultados económicos. Entre estos aspectos están: los costos de congestión y rehabilitación, la tasa de interés y los diferentes plazos de análisis, entre otros aspectos.

7.3.1 Variación del costo de congestión

Se evaluó el efecto de asignar costos por congestión cuya magnitud fuera el doble que la propuesta conservadora utilizada como base. Este incremento en el costo de congestión debido a las labores de rehabilitación no cambió la priorización de alternativas desde el punto de vista económico. Solamente se puede afirmar que al trabajar con mayores costos de congestión la diferencia relativa es un poco más favorable hacia la alternativa de pavimento rígido (aproximadamente 0.5% más en la tasa interna de retorno). Si los costos reales de congestión fueran mayores se refuerza la ventaja del pavimento rígido que requiere menor mantenimiento.

7.3.2 Variación de la tasa de interés

La priorización de alternativas de pavimentos no cambia para las diferentes tasas "normales" de interés del mercado. Esto se puede ver en cada uno de los gráficos de variación del valor actual neto en donde el eje horizontal muestra la variación de las tasas de interés. Para tasas de interés muy altas (mayores que 20% en dólares), las alternativas pierden su diferencia relativa. Para el rango que va entre 5% (tasa pasiva) y 10% (tasa activa) la alternativa de pavimento rígido es ligeramente mejor que cualquier pavimento asfáltico.

Esta condición garantiza que la decisión tomada es la más adecuada para la sociedad aunque las condiciones económicas mundiales cambiaran sustancialmente durante la vida útil del proyecto.

7.3.3 Variación en los periodos de análisis

En todos los periodos analizados el pavimento rígido muestra una leve ventaja económica para la sociedad costarricense respecto al asfáltico. Al analizar los resultados para un periodo de 15 años se evidencia una ventaja menor para el pavimento rígido respecto al asfáltico que en el análisis a 22 años. En este último periodo, el pavimento rígido tiene su mayor ventaja respecto al asfáltico porque no ha recibido rehabilitación y todavía cuenta con buenas condiciones de superficie.

A 30 años el pavimento rígido se mantiene en ventaja, aún cuando se le aplicó un refuerzo estructural importante en el año 22 de servicio, lo cual extiende su vida más allá de 30 años. Esta vida extendida del pavimento rígido más allá de 30 años no se aprecia por el largo plazo implícito (más de 30 periodos de descuento), pero sí constituye una ventaja para la sociedad.

7.3.4 Variación de los valores residuales del pavimento

Para analizar la sensibilidad de las alternativas a cambios en el valor residual se propuso usar valores mayores hasta en un 100% del valor calculado. Los resultados de estos cambios no afectan la priorización de alternativas para ninguno de los plazos. Solamente el valor de rescate a 15 años tiene alguna influencia en la magnitud del valor descontado neto (1 o 1.5%) y en la tasa interna de retorno por su cercanía al año inicial. Sin embargo, no cambia la recomendación hecha sobre la conveniencia de construir un pavimento rígido.

También debe recordarse que los valores residuales del pavimento rígido no dependen de que se realice una rehabilitación final como sí se requiere para el pavimento asfáltico. En caso de discontinuar abruptamente el mantenimiento por alguna razón, el pavimento rígido tendría más capacidad de servicio.

7.3.5 Inadecuada política de rehabilitación

El análisis económico planteó políticas de mantenimiento y rehabilitación muy completas y frecuentes. Si por algún motivo no se realizan estas labores, o no se hacen a tiempo, el pavimento rígido supera ampliamente al de tipo asfáltico en su rendimiento económico y funcional.

En este supuesto caso de falla del mantenimiento, los costos de operación en la superficie asfáltica se elevan mucho después del año No.

5 de servicio sin mantenimiento y favorecen al pavimento rígido con gran amplitud. La diferencia de valor actual neto a 15 años sería de hasta 5% a favor del pavimento rígido si no se hiciera rehabilitación en 10 años, por ejemplo.

Esto demuestra nuevamente que el Estado se asegura un mejor comportamiento de la autopista si se construye con un pavimento rígido y le evitaría mayores inconvenientes al usuario.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La comparación de las alternativas de pavimento para la autopista General Cañas indica que el pavimento rígido puede ofrecer buen servicio con menor atención y trabajo de mantenimiento de parte de la administración vial durante el periodo de análisis. Es bueno recordar aquí que el costo inicial de la inversión utilizado corresponde solamente al costo constructivo de los seis carriles, sin considerar cambios de diseño necesarios para construir el carril adicional. La inversión real para construir la ampliación de la autopista es mucho mayor que los valores utilizados en este estudio pero su utilización no haría cambiar la priorización de alternativas ya que es una constante para todas las opciones.

El pavimento rígido resulta mejor alternativa para cualquiera de los plazos analizados aún cuando se desprece algunos aspectos cualitativos que le son ventajosos también y que quedaron fuera del análisis económico. Si se tomara en cuenta los conflictos frecuentes al usuario del transporte de carga e industria y las externalidades en el espacio urbano y sobre la actividad comercial y turística, la alternativa de pavimento rígido es más conveniente para el Estado y para la sociedad costarricense.

Un aspecto técnico adicional en favor del pavimento rígido es que elimina la posibilidad de que las fisuras por retracción en la base estabilizada se reflejen en la superficie de ruedo. Esta situación es muy probable que ocurra en el caso del pavimento asfáltico, a pesar de que sea construido con una excelente técnica; mientras que el concreto garantiza que estas fisuras no reaparezcan en la rasante.

Además el pavimento rígido permite mantener el nivel de la carretera constante hasta el año 22 de servicio cuando requeriría una sobrecapa de refuerzo. No así el pavimento asfáltico, que elevaría el nivel de la carretera cada vez que recibe mantenimiento (cada 4 o 5 años) y en total, si se aplica la estrategia de rehabilitación por sobrecapas, llegaría hasta 36 cm de elevación adicional a 30 años plazo. Este aumento de niveles tan frecuente obliga a realizar trabajos adicionales para compensar la sobrelevación (como taludes laterales, adecuación de nivel bajo los pasos elevados y ajuste de la barrera tipo New Jersey).

Otros parámetros cualitativos favorables al pavimento rígido son el ahorro potencial en energía eléctrica requerida para iluminar la carretera (que podría tener más importancia en el futuro si los precios suben) y la mejor visibilidad de la superficie más clara que puede tener un efecto favorable sobre la seguridad vial en la época de invierno y por la noche.

La optimización económica del espesor del pavimento rígido indica que podría obtenerse una mejor rentabilidad de la inversión al construir un pavimento de 26.5 cm de espesor. Este espesor es 1.5 cm mayor que el

obtenido por diseño estructural para 22 años de vida útil, pero constituye un factor de seguridad adicional que sería recuperado mediante el mayor ahorro en el costo de operación de los vehículos.

El estudio de sensibilidad del análisis económico indica que la diferencia entre las alternativas de pavimento es muy poco sensible a variaciones. No hay posibilidad de que esta diferencia cambie sustancialmente al cambiar algún parámetro económico o físico (excepto la rugosidad de la superficie). El costo de operación vehicular y la rugosidad superficial son los aspectos que dominan el flujo financiero de las alternativas y sobre ellos es donde debe centrarse la atención del Estado. Esto implica no descuidar la política de mantenimiento y rehabilitación que mantendría un buen índice de rugosidad de la autopista.

Al utilizar costos de la congestión menos conservadores que los usados inicialmente (más altos), la ventaja del pavimento rígido sobre las alternativas de asfalto se incrementa. Es bueno señalar que el resultado obtenido coincide con otros resultados en carreteras de alto nivel de tránsito y evaluadas a plazos mayores que 10 años. En este tipo de proyectos las alternativas con menor requerimiento de mantenimiento tienen ventaja económica y administrativa.

BIBLIOGRAFIA

- AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, Washington D.C., 1993.
- ACI Capítulo Costa Rica, Guía para la colocación de sobrecapas de concreto adheridas, Publicación No. 15, 1995.
- Baladi, Gilbert. Advanced Course in Pavement Management Systems, Departamento de Transporte de Los Estados Unidos y Federal Highway Administration, Boston, Massachusetts, 1991.
- Banco Mundial. Manual del HDM-III Programa de Administración de Pavimentos. Washinton D.C., USA, 1995
- Banco Mundial. Manual del Programa de Cálculo de Costos de Operación de Vehículos, Washinton D.C., USA, 1995
- FHWA, Manual del Usuario del Programa ELSYM5, Washington D.C., Septiembre 1985
- Huang Yang, Pavement Analysis and Design, Editorial Préntice Hall, USA, 1993
- Instituto del Asfalto, Asphalt Overlays for Highways and Street Rehabilitation, Virginia, USA, Junio 1983.
- Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, Pavimentos Rígidos versus Pavimentos Flexibles, México, 1996
- LANAMME, Proyecto de Rehabilitación de la Autopista General Cañas, Informe Final, FUNDEVI UCR y Consejo de Seguridad Vial, MOPT, San José, Costa Rica, Octubre 1996.
- LCR Logística S.A., Estudio Técnico y Económico para la Construcción, Concesión y Operación de la Ampliación de la Autopista General Cañas. Informe Final para el Consejo de Seguridad Vial, Diciembre de 1996.
- Quintana, Carlos, Elementos de Inferencia Estadística, Editorial UNED, San José, Costa Rica, 1990.
- Universidad de Washington, Manual del Usuario del Programa EXPEAR para pavimentos rígidos, Washington, USA, 1990.
- Videla, Echeverría & Gaete. Metodología de Optimización Económica para la Definición de Políticas de Conservación en Pavimentos

ANEXO A

PENDIENTE DE LA CURVA
DE DEFORMACION

**DETERMINACION DE PENDIENTE
EN CURVA DEFORMADA DE UN PAVIMENTO
SUJETO A UNA CARGA DE 15000 lb (MEDIA PARA CAMION TIPO C3)**

CASOS:

- (1) Pavimento flexible típico. Carpeta de 15 cm (6 in), base granular de 25 cm (8 in) y sub-base de 30 cm (12 in).
- (2) Pavimento de concreto asfáltico de 17 cm, sobre base estabilizada de 26 cm, base granular de 14 cm y subbase de 20 cm.

En el análisis se utiliza un módulo de elasticidad de la carpeta de concreto asfáltico de 115000 psi, que corresponde a altas temperaturas (30°C temperatura ambiente). De esta manera los valores de pendiente obtenidos representan el caso crítico, cuando el módulo de elasticidad alcanza su mínimo y se da mayor tendencia a la deformación plástica.

Método de cálculo: por medio del programa de análisis elástico multicapa ELSYM-5 se determinaron los desplazamientos verticales a varias distancias del punto de aplicación de la carga y se estimaron las pendientes. Se utilizó una presión de inflado de 100 psi.

DISTANCIA	CASO No. 1		CASO No. 2	
	desp. vertical (in)	pendiente	desp. vertical (in)	pendiente
0	0.0623		0.0321	
1	0.0620	-0.000300	0.0320	-0.000100
2	0.0611	-0.000900	0.0316	-0.000400
3	0.0596	-0.001500	0.0309	-0.000700
4	0.0573	-0.002300	0.0297	-0.001200
4.7	0.0550	-0.003286	0.0282	-0.002143
4.8	0.0545	-0.005000	0.0278	-0.004000
4.85	0.0542	-0.006000	0.0276	-0.004000
4.9	0.0539	-0.006000	0.0273	-0.006000
5	0.0533	-0.006000	0.0268	-0.005000
6	0.0499	-0.003400	0.0240	-0.002800
7	0.0474	-0.002500	0.0225	-0.001500
8	0.0453	-0.002100	0.0218	-0.000700
9	0.0434	-0.001900	0.0213	-0.000500

Nota: las pendientes se estiman para cada par de puntos sucesivos.

ANEXO B
PRESUPUESTO DE OBRA

PRESUPUESTO DE OBRA

PROYECTO:

AUTOPISTA GENERAL CAÑAS
PAVIMENTO FLEXIBLE PARA SEIS CARRILES

REGLON DE PAGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL Colones
103.09B	SUBTOTAL POR REAJUSTES	GLOBAL			97,222,957
109.04	TRABAJO A COSTO MAS PORCENTAJE	GLOBAL			97,222,957
203(3)	EXCAVACION NO CLASIFICADA	12690	M3	600	7,614,000
203(14)	LIMPIEZA DE ESPALDONES Y CUNETAS	8700	M3	450	3,915,000
203(15)	EXCAVACION PARA GAVETAS	1752	M3	800	1,401,600
203(16)	LIMPIEZA DE ALCANTARILLAS	200	M	550	110,000
204(1)	SUBBASE GRADUACION D	6078	M3	1750	10,636,500
206(1)	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	134.4	M3	2200	295,680
206(3)	RELLENO PARA FUNDACION	40	M3	1400	56,448
211(2)	REMOCION EXCARIF. Y ESTABILIZACION PAVIMENTO EXISTEN	42340	M3	810	34,295,400
308(1)	CEMENTO PORTLAND PARA LA BASE ESTABILIZADA	7818	TONS	17800	139,164,850
308(2)	AGREGADO PARA LA BASE ESTABILIZADA	28735	M3	3100	89,078,500
308(5)	SELLO DE CURA,ASF.EMUL.PARA BASE ESTABILIZADA	361920	LITROS	55	19,905,600
403(1)	PAVIMENTO BITUMINOSO EN CLIENTE GRAD.BPARA CARPETA	107587	TONS	5620	604,637,692
403(2)	CEMENTO ASFALTICO TIPO 85-100 PARA CARPETA	6455207	LITROS	55	355,036,367
407(2)	ASFALTO EMULSIONADO TIPO CRS-1,CAPA DE LIGA	401450	LITROS	55	22,079,750
602A(1)	HORMIGON ESTRUCTURAL CLASE A	4	m3	15000	60,000
603(21)	TUBO SIMILAR A ASTM C76 CLASE III DE 60 CM DE DIAM.	40	M	22000	880,000
604(3)	TRAGANTE	4	UNIDAD	65000	260,000
605(21)	RELLENO DE GRAVAS SUBDRENAJE FRANCES	2610	M3	1750	4,567,500
605(22)	TELA DE FIBRA SINTETICA PARA SUBDRENAJE	39150	M2	230	9,004,500
606A(8)	BARANDA TIPO NEW JERSEY	2500	m	14200	35,500,000
606B(8)	REPARACION BARANDA TIPO NEW JERSEY	12000	m	4200	50,400,000
	sub. total	Colones			1,388,899,388
	TOTAL	Colones			1,583,345,302

PRESUPUESTO DE OBRA

PROYECTO:	AUTOPISTA GENERAL CAÑAS PAVIMENTO RIGIDO PARA SEIS CARRILES
------------------	--

REGLON DE PAGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL Colones
103.09B	SUBTOTAL POR REAJUSTES	GLOBAL			115,859,154
109.04	TRABAJO A COSTO MAS PORCENTAJE	GLOBAL			115,859,154
203(3)	EXCAVACION NO CLASIFICADA	12690	M3	600	7,614,000
203(14)	LIMPIEZA DE ESPALDONES Y CUNETAS	8700	M3	450	3,915,000
203(15)	EXCAVACION PARA GAVETAS	1752	M3	800	1,401,600
203(16)	LIMPIEZA DE ALCANTARILLAS	200	M	550	110,000
204(1)	SUBBASE GRADUACION D	6078	M3	1750	10,636,500
206(1)	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	134.4	M3	2200	295,680
206(3)	RELLENO PARA FUNDACION	40	M3	1400	56,448
211(2)	REMOCION DEL PAVIMENTO EXISTENTE	42340	M3	810	34,295,400
308(1)	CEMENTO PORTLAND PARA LA BASE ESTABILIZADA	6939	TONS	17800	123,520,430
308(2)	AGREGADOS PARA BASE ESTABILIZADA	63085	M3	3100	195,563,500
308(5)	SELLO DE CURA,ASF.EMUL.PARA BASE ESTABILIZADA	361920	LITROS	55	19,905,600
407(2)	ASFALTO EMULSIONADO TIPO CRS-1,CAPA DE LIGA	401450	LITROS	55	22,079,750
502(2)	PAVIMENTO DE HORMIGON SIN REFUERZO, DE CEMENTO PORTLAND	71050	M3	20000	1,421,000,000
602A(1)	HORMIGON ESTRUCTURAL CLASE A	4	m3	15000	60,000
603(21)	TUBO SIMILAR A ASTM C76 CLASE III DE 60 CM DE DIAM.	40	M	22000	880,000
604(3)	TRAGANTE	4	UNIDAD	65000	260,000
605(21)	RELLENO DE GRAVAS SUBDRENAJE FRANCES	2610	M3	1750	4,567,500
605(22)	TELA DE FIBRA SINTETICA PARA SUBDRENAJE	39150	M2	230	9,004,500
606A(8)	BARANDA TIPO NEW JERSEY	2500	m	14200	35,500,000
606B(8)	REPARACION BARANDA TIPO NEW JERSEY	12000	m	3360	40,320,000
sub. total			Colones		1,930,985,908
TOTAL			Colones		2,162,704,217

PRESUPUESTO DE OBRA

PROYECTO: AUTOPISTA GENERAL CAÑAS
PAVIMENTO WHITETOPING PARA SEIS CARRILES

REGLON DE PAGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL Colones
103.09B	SUBTOTAL POR REAJUSTES	GLOBAL			135,401,086
109.04	TRABAJO A COSTO MAS PORCENTAJE	GLOBAL			135,401,086
203(3)	EXCAVACION NO CLASIFICADA	12690	M3	600	7,614,000
203(14)	LIMPIEZA DE ESPALDONES Y CUNETAS	8700	M3	450	3,915,000
203(15)	EXCAVACION PARA GAVETAS	1752	M3	800	1,401,600
203(16)	LIMPIEZA DE ALCANTARILLAS	200	M	550	110,000
204(1)	SUBBASE GRADUACION D	6078	M3	1750	10,636,500
206(1)	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	134.4	M3	2200	295,680
206(3)	RELLENO PARA FUNDACION	40	M3	1400	56,448
211(2)	REMOCION EXCARIF. Y ESTABILIZACION PAVIMENTO EXISTEN	0	M3	810	0
308(1)	CEMENTO PORTLAND PARA LA BASE ESTABILIZADA	0	TONS	17800	0
308(2)	AGREGADO PARA LA BASE ESTABILIZADA	0	M3	3100	0
308(5)	SELLO DE CURA,ASF.EMUL.PARA BASE ESTABILIZADA	0	LITROS	55	0
403(1)	PAVIMENTO DE HORMIGON SIN REFUERZO	0			
403(2)	PAVIMENTO BITUMINOSO EN CLIENTE GRAD.BPARA CARPETA	0	TONS	5620	0
407(2)	CEMENTO ASFALTICO TIPO 85-100 PARA CARPETA	0	LITROS	55	0
502(2)	PAVIMENTO DE HORMIGON SIN REFUERZO	90480	M3	20000	1,809,600,000
602A(1)	ASFALTO EMULSIONADO TIPO CRS-1,CAPA DE LIGA	0	LITROS	55	0
603(21)	HORMIGON ESTRUCTURAL CLASE A	4	m3	15000	60,000
604(3)	TUBO SIMILAR A ASTM C76 CLASE III DE 60 CM DE DIAM.	40	M	22000	880,000
605(21)	TRAGANTE	4	UNIDAD	65000	260,000
605(22)	RELLENO DE GRAVAS SUBDRENAJE FRANCES	2610	M3	1750	4,567,500
606A(8)	TELA DE FIBRA SINTETICA PARA SUBDRENAJE	39150	M2	230	9,004,500
606A(8)	BARANDA TIPO NEW JERSEY	2500	m	14200	35,500,000
606B(8)	REPARACION BARANDA TIPO NEW JERSEY	12000	m	4200	50,400,000
sub. total		Colones			1,934,301,228
TOTAL		Colones			2,205,103,400

ANEXO C
ANALISIS ECONOMICO

CAMBIO EN COSTO (positivo es ahorro)									
VEL INIC.	VEL. FINAL	Autos Peq \$	Med \$	Gde \$	Autobus \$	Camiones 2 ejes \$	3 ejes \$	5 ejes \$	CAMBIO DE COSTO (positivo es ahorro) \$ por dia
			(6.03)	(8.95)	(11.92)	32.41	20.66	30.77	62.69
CALCULO PARA UN DIA Y SEGUN TRANSITO									
Proporcion		Peq	Med	Gde	Autobus	2 ejes	3 ejes	5 ejes	solo horas pico 7
TPD		15.0%	50.0%	20.0%	6.5%	6.3%	1.2%	1.1%	
		(667.0)	(3,298.5)	(1,757.5)	1,552.7	959.3	272.1	508.3	(2,430.6) \$
		(725.8)	(3,589.4)	(1,912.5)	1,689.6	1,043.9	296.1	553.1	(2,644.9) \$
		(817.0)	(3,884.0)	(2,069.5)	1,828.3	1,129.6	320.5	598.5	(2,862.0) \$
		(848.5)	(4,040.1)	(2,152.6)	1,901.7	1,175.0	333.3	622.6	(2,977.0) \$
		(881.9)	(4,196.1)	(2,235.7)	1,975.2	1,220.4	346.2	646.6	(3,092.0) \$
		(917.3)	(4,361.4)	(2,323.8)	2,053.0	1,268.5	359.8	672.1	(3,213.8) \$
		(952.6)	(4,536.5)	(2,417.1)	2,135.4	1,319.4	374.3	699.1	(3,342.8) \$
		(988.0)	(4,711.0)	(2,510.1)	2,217.6	1,370.1	388.7	726.0	(3,471.4) \$
		(1,023.3)	(4,886.1)	(2,603.4)	2,300.0	1,421.1	403.1	752.9	(3,600.4) \$
		(1,058.7)	(5,060.6)	(2,696.4)	2,382.1	1,471.8	417.5	779.8	(3,729.0) \$
		(1,094.0)	(5,235.7)	(2,789.7)	2,464.6	1,522.8	432.0	806.8	(3,858.1) \$
		(1,131.7)	(5,410.3)	(2,882.7)	2,546.7	1,573.5	446.4	833.7	(3,986.7) \$
		(1,172.8)	(5,596.7)	(2,982.0)	2,634.5	1,627.7	461.8	862.4	(4,124.0) \$
		(1,215.4)	(5,800.0)	(3,090.3)	2,730.2	1,686.9	478.5	893.8	(4,273.8) \$
		(1,259.6)	(6,010.7)	(3,202.6)	2,829.3	1,748.1	495.9	926.2	(4,429.1) \$
			(6,229.0)	(3,318.9)	2,932.1	1,811.6	513.9	959.9	(4,590.0) \$
CAMBIO POR TIEMPO VIAJE									
VEL INIC.	VEL. FINAL	40 Peq	Med	Gde	Autobus	2 ejes	3 ejes	5 ejes	VALOR TIEMPO VIAJE (positivo es ahorro) \$ por dia
TPD		15.0%	50.0%	20.0%	6.5%	6.3%	1.2%	1.1%	
		1.2	1.2	1.2	15	1	1	1	
t viaje inicial									
t viaje final									
Dif. tiempos									
Val. t viaje									
		-2634.0	-8780.2	-3512.1	-3566.9	-921.9	-175.6	-161.0	(19,752) \$
		-2866.3	-9554.4	-3821.8	-3881.5	-1003.2	-191.1	-175.2	(21,493) \$
		-3101.6	-10338.8	-4135.5	-4200.1	-1085.6	-206.8	-189.5	(23,258) \$
		-3226.2	-10754.1	-4301.6	-4368.8	-1129.2	-215.1	-197.2	(24,192) \$
		-3350.8	-11169.4	-4467.8	-4537.6	-1172.8	-223.4	-204.8	(25,126) \$
		-3482.8	-11609.3	-4643.7	-4716.3	-1219.0	-232.2	-212.4	(26,116) \$
		-3622.6	-12075.4	-4830.2	-4905.6	-1267.9	-241.5	-221.4	(27,165) \$
		-3762.0	-12540.0	-5016.0	-5094.4	-1316.7	-250.8	-229.9	(28,210) \$
		-3901.8	-13006.1	-5202.4	-5283.7	-1365.6	-260.1	-238.4	(29,258) \$
		-4041.2	-13470.7	-5388.3	-5472.5	-1414.4	-269.4	-247.0	(30,303) \$
		-4181.0	-13936.8	-5574.7	-5661.8	-1463.4	-278.7	-255.5	(31,352) \$
		-4320.4	-14401.3	-5760.5	-5850.5	-1512.1	-288.0	-264.0	(32,397) \$
		-4469.3	-14887.6	-5959.1	-6052.2	-1564.3	-298.0	-273.1	(33,513) \$
		-4631.6	-15438.7	-6175.5	-6272.0	-1621.1	-308.8	-283.0	(34,731) \$
		-4799.9	-15999.6	-6399.8	-6499.8	-1680.0	-320.0	-293.3	(35,992) \$
		-4974.2	-16580.7	-6632.3	-6735.9	-1741.0	-331.6	-304.0	(37,300) \$

Costos de Actividades de Reconstruccion

	unidad	cantidad	precio C	precio \$	subtotal
Colocacion Sobrecapa 5 cm					
Limpieza	Km	13		250 C	3,250
Asfalto de Liga	lt	399000	66	0.301 C	120,247
Mezcla asfaltica sobrecapa 5 cm	ton	31317	4,600	21.0 C	657,800
Costos indirectos 15%				C	781,297
Total				C	117,194
Total mas contratacion				C	898,491
				C	943,416
Colocacion Sobrecapa 8 cm					
Limpieza	Km	13		250 C	3,250
Asfalto de Liga	lt	399000	66	0.301 C	120,247
Mezcla asfaltica sobrecapa 8 cm	ton	50107	4,600	21.0 C	1,052,480
Costos indirectos 15%				C	1,175,977
Total				C	176,396
Total mas contratacion				C	1,352,373
				C	1,419,992
Colocacion Microcapa 3 cm					
Limpieza	Km	13		250 C	3,250
Asfalto de Liga	lt	399000	66	0.301 C	120,247
Mezcla asfaltica microcapa 3 cm	ton	18790	7,600	34.7 C	652,080
Costos indirectos 15%				C	775,577
Total				C	116,336
Total mas contratacion				C	891,913
				C	936,509
Reciclaje y recolocacion 8/12					
Reciclado de 8 cm	m2	285000	404	1.853 C	528,165
Asfalto de Liga	lt	399000	66	0.301 C	120,247
Mezcla asfaltica reciclada 12 cm	ton	75161	3,800	17.4 C	1,304,160
Costos indirectos 15%				C	1,952,572
Total				C	292,886
Total mas contratacion				C	2,245,457
				C	2,357,730

COSTO DE LA CONGESTION PRODUCIDA POR LABORES DE REHABILITACION

ACTIVIDAD	plazo dias de trabajo	AÑOS									
		2000	2004	2008	2012	2018	2022	2026			
CALCULO CONSERVADOR											
COSTO POR DIA (dolares)		\$ 7,423	\$ 8,356	\$ 9,021	\$ 9,744	\$ 10,800	\$ 11,996	\$ 12,883			
Microcapa 3 cm	40	\$ 296,920	\$ 334,240	\$ 360,840	\$ 389,760	\$ 432,000	\$ 479,840	\$ 515,320			
Capa delgada 5 cm	50	\$ 371,150	\$ 417,800	\$ 451,050	\$ 487,200	\$ 540,000	\$ 599,800	\$ 644,150			
Sobrecapa 8 cm	75	\$ 556,725	\$ 626,700	\$ 676,575	\$ 730,800	\$ 810,000	\$ 899,700	\$ 966,225			
Reciclaje 8/12 cm	105	\$ 779,415	\$ 877,380	\$ 947,205	\$ 1,023,120	\$ 1,134,000	\$ 1,259,580	\$ 1,352,715			
Sobrecapa de concreto 20 cm	120	\$ 890,760	\$ 1,002,720	\$ 1,082,520	\$ 1,169,280	\$ 1,296,000	\$ 1,439,520	\$ 1,545,960			

ACTIVIDAD	plazo dias de trabajo	AÑOS						
		2000	2004	2008	2012	2018	2022	2026
CALCULO NORMAL								
COSTO POR DIA (dolares)		\$ 16,896	\$ 19,019	\$ 20,531	\$ 22,177	\$ 23,882	\$ 26,346	\$ 29,323
Microcapa 3 cm	40	\$ 675,840	\$ 760,760	\$ 821,240	\$ 887,080	\$ 955,280	\$ 1,053,840	\$ 1,172,920
Capa delgada 5 cm	50	\$ 844,800	\$ 950,950	\$ 1,026,550	\$ 1,108,850	\$ 1,194,100	\$ 1,317,300	\$ 1,466,150
Sobrecapa 8 cm	75	\$ 1,267,200	\$ 1,426,425	\$ 1,539,825	\$ 1,663,275	\$ 1,791,150	\$ 1,975,950	\$ 2,199,225
Reciclaje 8/12 cm	105	\$ 1,774,080	\$ 1,996,995	\$ 2,155,755	\$ 2,328,585	\$ 2,507,610	\$ 2,766,330	\$ 3,078,915
Sobrecapa de concreto 20 cm	120	\$ 2,027,520	\$ 2,282,280	\$ 2,463,720	\$ 2,661,240	\$ 2,865,840	\$ 3,161,520	\$ 3,518,760

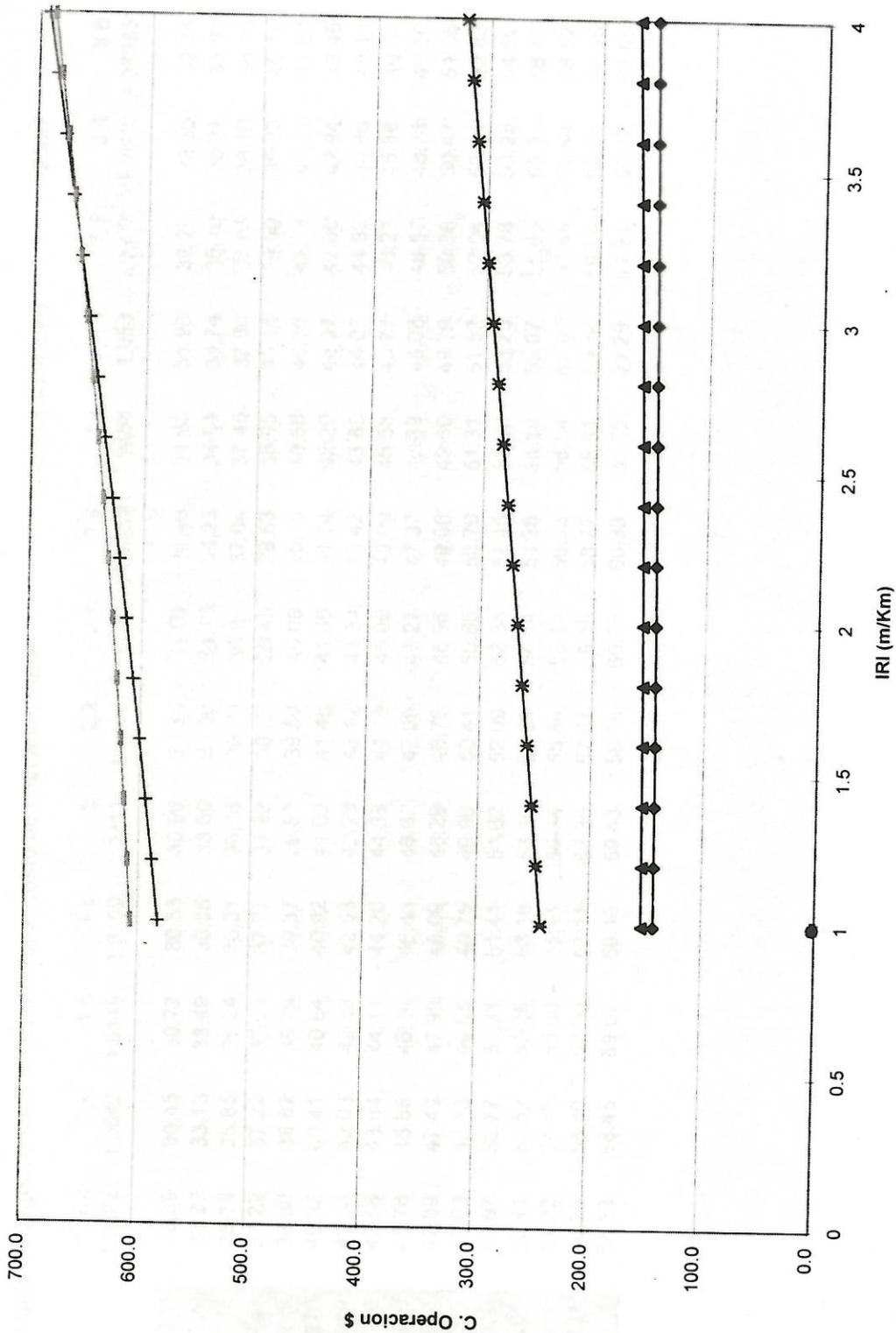
Variacion del Indice de Rugosidad Internacional (IRI)

	pav 10 pulg			pav 10.5 pulg			pavimento 11 pulg.		
	der 25	ctrl 25	izq 25	der 265	ctrl 265	izq 265	der 28	ctrl 28	izq 28
1998	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
1999	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.67	1.67	1.67
2000	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.67	1.67	1.67
2001	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.67	1.67	1.67
2002	1.85	1.85	1.76	1.76	1.76	1.76	1.67	1.67	1.67
2003	1.85	1.85	1.76	1.76	1.76	1.76	1.67	1.67	1.67
2004	1.95	1.85	1.76	1.85	1.76	1.76	1.76	1.76	1.67
2005	1.95	1.85	1.85	1.85	1.76	1.76	1.85	1.76	1.76
2006	2.06	1.95	1.85	1.95	1.85	1.76	1.85	1.76	1.76
2007	2.17	1.95	1.85	2.06	1.85	1.76	1.95	1.76	1.76
2008	2.29	1.95	1.85	2.17	1.85	1.85	2.06	1.85	1.76
2009	2.29	2.06	1.95	2.29	1.95	1.85	2.17	1.85	1.85
2010	2.41	2.06	1.95	2.41	1.95	1.85	2.29	1.95	1.85
2011	2.54	2.17	2.06	2.54	2.06	1.95	2.41	1.95	1.95
2012	2.67	2.17	2.06	2.67	2.06	1.95	2.54	1.95	1.95
2013	2.82	2.29	2.06	2.82	2.17	2.06	2.67	2.06	1.95
2014	2.97	2.29	2.17	2.97	2.17	2.06	2.82	2.06	2.06
2015	3.13	2.41	2.17	3.13	2.29	2.06	2.97	2.17	2.06
2016	3.30	2.41	2.29	3.30	2.29	2.17	3.13	2.29	2.17
2017	3.48	2.54	2.29	3.48	2.41	2.17	3.30	2.29	2.17
2018	3.66	2.54	2.41	3.48	2.41	2.29	3.30	2.41	2.29
2019	3.86	2.67	2.54	3.66	2.54	2.41	3.48	2.54	2.29
2020	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	3.66	2.54	2.41
2021	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	3.66	2.67	2.54
2022	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.58	1.58	1.58
2023	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.58	1.58	1.58
2024	1.85	1.85	1.85	1.76	1.76	1.76	1.58	1.58	1.58
2025	1.95	1.85	1.85	1.85	1.76	1.76	1.67	1.67	1.58
2026	2.06	1.95	1.95	1.95	1.85	1.85	1.67	1.67	1.67
2027	2.06	1.95	1.95	2.06	1.85	1.85	1.76	1.67	1.67

Variación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

Ano	Estimado por AASHTO ASF. con SC	Estimado por AASHTO ASF. con reciclaje
1998	1.80	1.80
1999	1.82	1.82
2000	1.86	1.86
2001	1.93	1.86
2002	1.99	1.93
2003	1.86	1.86
2004	1.93	1.93
2005	1.99	1.99
2006	2.03	2.03
2007	2.13	2.13
2008	1.80	1.8
2009	1.82	1.82
2010	1.86	1.86
2011	1.86	1.93
2012	1.93	1.86
2013	1.86	1.93
2014	1.93	1.99
2015	1.99	2.03
2016	2.03	1.8
2017	2.13	1.82
2018	1.80	1.86
2019	1.82	1.93
2020	1.86	1.86
2021	1.93	1.93
2022	1.86	1.99
2023	1.93	2.03
2024	1.99	1.8
2025	2.03	1.82
2026	2.13	1.86
2027	1.8	1.93
	1.82	1.82

Variación del Costo de Operación Vehicular con la Rugosidad según estudio de Chile



—◆— Automoviles —▲— Utilitarios —*— Camion Simple —+— Autobuses —■— Camion Articulado

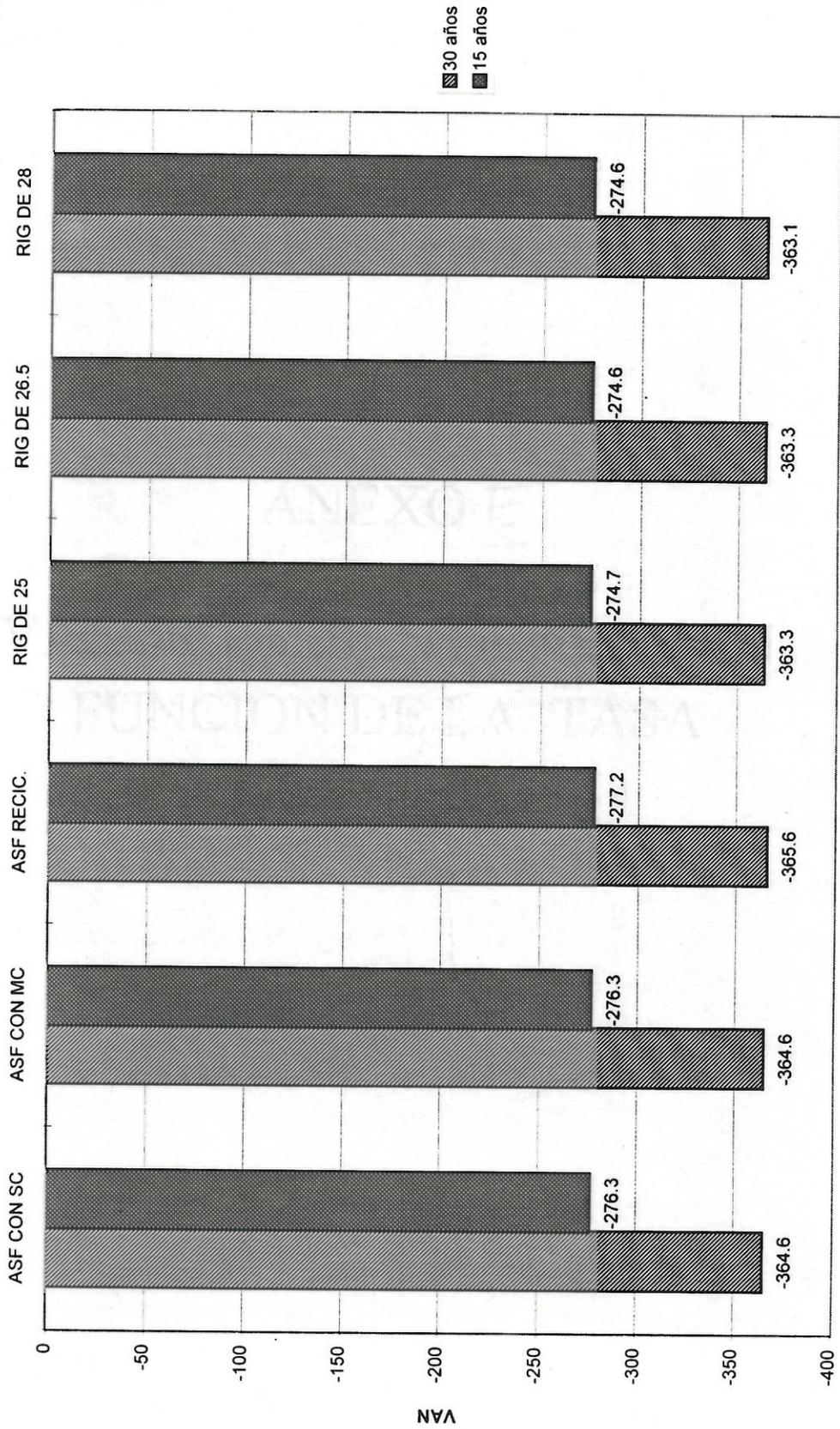
Tabla compuesta segun TPDA e IRI para obtener costo de operacion anual

IRI	(millones \$ por ano)														
	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	1/23/97		
Factor	1.0022	1.0042	1.0149	1.0169	1.0211	1.0304	1.0353	1.0375	1.0488	1.053	1.0637	1.0672	1.07983	3.8	4
56,700	30.39	30.45	30.77	30.83	30.96	31.24	31.39	31.46	31.80	31.93	32.25	32.36	32.74	32.94	33.22
61,700	33.07	33.13	33.49	33.55	33.69	34.00	34.16	34.23	34.61	34.74	35.10	35.21	35.63	35.84	36.15
66,765	35.78	35.85	36.24	36.31	36.46	36.79	36.97	37.04	37.45	37.60	37.98	38.10	38.55	38.78	39.12
69,447	37.22	37.29	37.69	37.77	37.92	38.27	38.45	38.53	38.95	39.11	39.50	39.63	40.10	40.34	40.69
72,129	38.80	38.87	39.29	39.37	39.53	39.89	40.08	40.16	40.60	40.76	41.18	41.31	41.80	42.05	42.42
74,970	40.32	40.41	40.84	40.92	41.09	41.46	41.66	41.74	42.20	42.37	42.80	42.94	43.45	43.71	44.09
77,980	41.94	42.03	42.48	42.56	42.73	43.12	43.33	43.42	43.89	44.07	44.52	44.66	45.19	45.46	45.86
80,980	43.56	43.64	44.11	44.20	44.38	44.78	45.00	45.09	45.58	45.77	46.23	46.38	46.93	47.21	47.62
83,990	45.76	45.85	46.34	46.43	46.62	47.05	47.27	47.37	47.89	48.08	48.57	48.73	49.30	49.60	50.03
86,990	47.39	47.49	47.99	48.09	48.29	48.73	48.96	49.06	49.60	49.79	50.30	50.47	51.06	51.37	51.81
90,000	49.03	49.13	49.65	49.75	49.96	50.41	50.65	50.76	51.31	51.52	52.04	52.21	52.83	53.14	53.61
93,000	50.67	50.77	51.31	51.41	51.62	52.09	52.34	52.45	53.02	53.23	53.78	53.95	54.59	54.92	55.39
96,205	52.41	52.52	53.08	53.18	53.40	53.89	54.14	54.26	54.85	55.07	55.63	55.81	56.47	56.81	57.30
99,699	54.32	54.42	55.00	55.11	55.34	55.84	56.11	56.23	56.84	57.07	57.65	57.84	58.52	58.87	59.38
103,321	56.29	56.40	57.00	57.11	57.35	57.87	58.15	58.27	58.91	59.14	59.74	59.94	60.65	61.01	61.54
107,074	58.33	58.45	59.07	59.19	59.43	59.98	60.26	60.39	61.05	61.29	61.91	62.12	62.85	63.23	63.78

ANEXO D

VALOR PRESENTE NETO PARA
DIFERENTES OPCIONES DE
CONSTRUCCION Y REHABILITACION

VALORES PRESENTES NETOS AL 10% DE INTERES

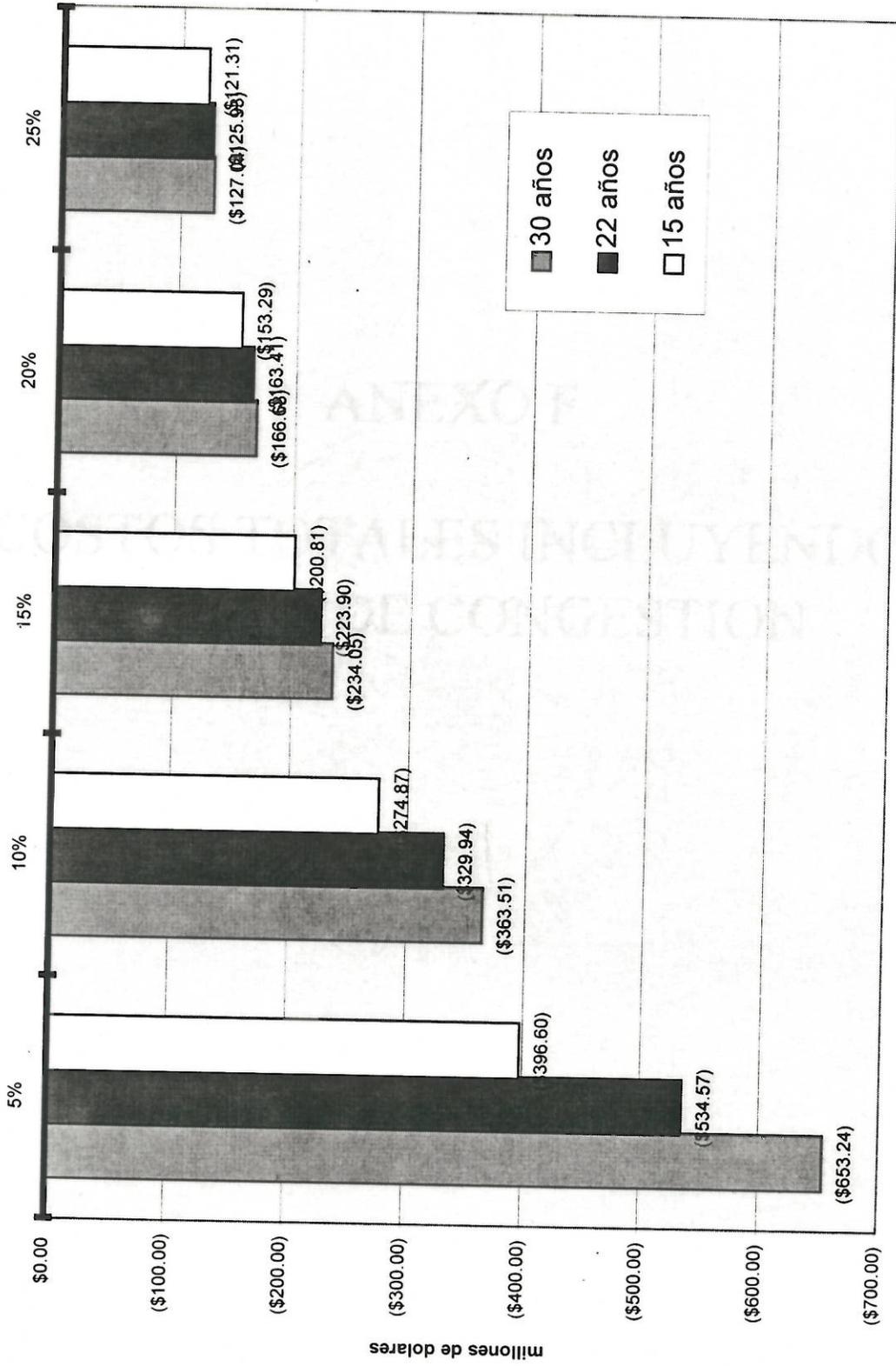


Alternativa

ANEXO E

VALOR PRESENTE NETO EN
FUNCION DE LA TASA
DE INTERES

**VALOR ACTUAL NETO PARA EL PAVIMENTO RIGIDO DE 25 CM
(TRES PERIODOS Y DIFERENTES TASAS DE INTERES)**



tasa de interes

ANEXO F

COSTOS TOTALES INCLUYENDO
COSTOS DE CONGESTION

COSTOS TOTALES INCLUYENDO COSTOS DE CONGESTION

Hoja de Analisis Economico -todo en millones de dolares anuales-		Inversion Inicial	Costo Operativo	Costo Medianera Congestion	Costo de Congestion	Costo Mantenimiento	Valor Residual	Flujo Neto	22 años	15 años
Asfalto plan CD, SC 5,10,14,19,22										
0	1997	-6.37				0		-6.370	(6.37)	(6.37)
1	1998		-33.55			0.000		-33.550	(33.55)	(33.55)
2	1999		-34.97			-0.103		-35.068	(35.07)	(35.07)
3	2000		-36.38			-0.239		-36.619	(36.62)	(36.62)
4	2001		-37.15			-0.358		-37.503	(37.50)	(37.50)
5	2002		-37.91		-0.66	-1.500		-40.070	(40.07)	(40.07)
6	2003		-38.68			0.000		-38.680	(38.68)	(38.68)
7	2004		-39.45			-0.103		-39.553	(39.55)	(39.55)
8	2005		-40.30			-0.239		-40.539	(40.54)	(40.54)
9	2006		-41.15			-0.358		-41.508	(41.51)	(41.51)
10	2007		-41.90	-0.45	-1.4	-1.952		-45.702	(45.70)	(45.70)
11	2008		-42.56			0.000		-42.560	(42.56)	(42.56)
12	2009		-43.43			-0.103		-43.533	(43.53)	(43.53)
13	2010		-44.30			-0.239		-44.539	(44.54)	(44.54)
14	2011		-45.50		-1.01	-1.256		-47.766	(47.77)	(47.77)
15	2012		-46.50			0.000	5.47	-46.500	(46.50)	(41.03)
16	2013		-47.39			-0.103		-47.493	(47.49)	
17	2014		-48.28			-0.239		-48.519	(48.52)	
18	2015		-49.24			-0.358		-49.598	(49.60)	
19	2016		-50.20	-0.45	-1.68	-1.952		-54.282	(54.28)	
20	2017		-50.81			0.000		-50.810	(50.81)	
21	2018		-51.42			-0.103		-51.523	(51.52)	
22	2019		-52.37			-0.239	5.02	-52.609	(47.59)	
23	2020		-53.32		-1.2	-1.256		-55.776		
24	2021		-54.285			0		-54.285		
25	2022		-55.25			-0.103		-55.353		
26	2023		-56.335			-0.239		-56.574		
27	2024		-57.42			-0.358		-57.778		
28	2025		-58.6	-0.45	-1.8	-1.952		-62.802		
29	2026		-59.19			0		-59.190		
30	2027		-59.8			-0.103	5.5	-54.403		
								Valor Actual Neto	22 años	15 años
								30 años	(\$656.03)	(\$399.85)
Tasa								5%	(\$534.67)	
								10%	(\$330.56)	(\$276.56)
								15%	(\$234.65)	(\$201.53)