

**DISEÑO DE REFUERZO ESTRUCTURAL
PARA AUTOPISTA
GENERAL CAÑAS**



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

LANAMME

San José, 18 de noviembre de 2002.

LM-PI-PMR-AS-03-02

**Ing. Carlos Villalta,
Ingeniero de Proyecto,
Mantenimiento y Rehabilitación de
Autopista General Cañas,
CONAVI**

Estimado Carlos:

Luego de saludarlo cordialmente, me permito remitirle el informe denominado Diseño de refuerzo estructural para Autopista General Cañas. En dicho informe se presentan estrategias de refuerzo estructural de acuerdo con su solicitud del oficio DCV-GC-002-02, y en carácter de complemento a nuestro Oficio LM-PI-PMR-AS-03-02, del 24 de setiembre de 2002.

Quedando a su disposición para lo que se preste, y expresándole mis mejores muestras de estima, consideración y respeto, me despido,

Cordialmente,

**Ing. Mario Arce, Coordinador,
Programa PITRA, LANAMME,
Universidad de Costa Rica**

CC:

Ing. Juan Ramón Chacón, Director, Conservación Vial, CONAVI,
Ing. MSc. MBA. Pedro Castro Fernández, Programa PITRA, LANAMME,
Ing. Tracy Gutiérrez, Programa PITRA, LANAMME,
Archivo.

DISEÑO DE REFUERZO ESTRUCTURAL PARA AUTOPISTA GENERAL CAÑAS

1. OBJETIVO

Establecer una acción de refuerzo estructural para la Autopista General Cañas, con período de diseño de 3 años.

2. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EXISTENTE

2.1. Espesores.

Los espesores de capa sondeados en 1999, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Espesores de capa (A).

Tramo	Capa	Sondeo de espesores		Escenarios de diseño (B)	
		Promedio (cm)	Desv. Estándar (cm)	Percentil 50 (cm)	Percentil 15 (cm)
San José – Alajuela	Concreto asfáltico	23.2	2.6	23.2	20.6
	Base	13.4	2.3	13.4	11.1
	Sub-base	23.3	8.9	23.3	14.4
Alajuela – San José	Concreto asfáltico	25.5	2.7	25.5	22.8
	Base	15.0	3.0	15.0	12.0
	Sub-base	23.0	9.9	23.0	13.1

(A) Fuente: LANAMME, UCR; Estudio de laboratorio para el proyecto General Cañas; setiembre de 1999.

(B) Escenarios de diseño: i) espesor promedio (percentil 50), ii) espesor promedio menos una desviación estándar (percentil 15).

2.2. Segmentos homogéneos.

A partir de los resultados de deflectometría de impacto de setiembre de 2002, la totalidad del pavimento se separó en segmentos homogéneos; es decir, tractos con una respuesta estructural diferenciada.

El parámetro de separación fue la deflexión medida debajo del plato de carga. El nivel de confianza estadística para la separación es del 95 %.

La Tabla 2 presenta los diferentes segmentos homogéneos seleccionados. Considérese que la separación entre los puntos de sondeo fue 100 m.

Tabla 2: Segmentos homogéneos con base en deflexión bajo el plato de carga del deflectómetro de impacto (2002).

Tramo	Segmento homogéneo	Estacionamiento		Deflexión bajo el plato de carga (E-2 mm)		
		Inicio	Fin	Promedio	Desviación estándar	
San José – Alajuela	1	0+000 (A)	3+500	49.25 ✓	16.10	57
	2	3+600	6+200	66.92 ✓	23.65	79
	3	6+300	8+600	88.88 ✓	30.98	103
	4	8+700(B)	9+900	33.81 ✓	10.07	39
	5	10+000	12+800	62.63 ✓	16.31	71
	6	12+900	15+100 (C)	51.82	18.48	61
Alajuela – San José	1	0+000 (D)	4+400	51.10	21.14	62
	2	4+400	5+600	36.17	10.50	41
	3	5+600	6+500 (E)	25.35	2.98	27
	4	6+500	8+000	40.61	8.44	45
	5	8+000	9+400	59.33	17.82	68
	6	9+400 (F)	11+800	45.56	19.56	56
	7	11+800	14+450	39.42	17.92	48
	8	14+450	15+000	45.67	13.13	52

- (A) Intersección de la Datsun.
- (B) Frente a la entrada principal del Real Cariari.
- (C) Inicio del puente sobre la Radial Alajuela.
- (D) Puente sobre la Radial Alajuela.
- (E) 200 m al Este del puente Francisco Orlich (Real Cariari).
- (F) 200 m al Oeste del puente sobre el Río Virilla.

Adicionalmente, se hicieron estudios deflectométricos en puntos de sondeo espaciados 25 m, en las zonas que, en el primer sondeo, evidenciaron mayores deflexiones. Los resultados correspondientes se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Deflectometría en zonas con mayor deflexión bajo el plato de carga del deflectómetro de impacto (FWD).

Tramo	Segmento	Estacionamiento		Deflexión bajo el plato de carga (E-2 mm)	
		Inicio	Fin	Promedio	Desviación estándar
San José – Alajuela	2A	3+600	3+800	89.3	32.4
	2B	4+600	4+800	87.5	35.3
	2C	5+000	5+200	71.7	25.3
	3A	7+600	8+700	111.23	38.3
	5A	10+100	10+400	93.4	32.9
	5B	11+200	11+400	75.3	10.8
	5C	12+500	12+700	89.3	16.6

Así, por similitud en la respuesta estructural (promedio y desviación estándar para deflexiones), con base en los resultados de las Tablas 2 y 3, se plantea la separación de segmentos homogéneos en la Tabla 4.

Tabla 4: Definición de segmentos homogéneos con base en deflexiones bajo el plato de carga del deflectómetro de impacto (FWD) y estudio de segmentos con mayores deflexiones.

Tramo	Segmento homogéneo	Estacionamiento		Deflexión bajo el plato de carga (E-2 mm)	
		Inicio	Fin	Promedio	Desviación estándar
San José – Alajuela	1	0+000 (A)	3+500	49.25	16.10
	2	3+900	4+600	66.92	23.65
		4+900	6+200		
	3	3+500	3+900	88.88	30.98
		4+600	4+900		
		6+200	7+500		
		9+900	10+500		
	3A	7+500	8+700	111.23	38.3
	4	8+700	9+900	33.81	10.07
	5	10+500	12+400	62.63	16.31
5C	12+400	12+900	89.3	16.6	
6	12+900	15+100	51.82	18.48	
Alajuela – San José	1	0+000 (B)	4+400	51.10	21.14
	2	4+400	5+500	36.17	10.50
	3	5+600	6+500	25.35	2.98
	4	6+500	8+000	40.61	8.44
	5	8+000	9+400	59.33	17.82
	6	9+400	11+800	45.56	19.56
	7	11+800	14+400	39.42	17.92
	8	14+400	15+000	45.67	13.13

Nota: Obsérvese que las diferentes secciones de un segmento no necesariamente colindan; pues el criterio de separación se ha basado en similitud de respuesta ante la carga (deflexión).

- (A) Intersección de la Datsun.
- (B) Puente sobre la Radial Alajuela.

2.3. Módulos de rigidez.

Para cada segmento homogéneo se determinaron los módulos de rigidez para las capas que forman el paquete estructural actual, aplicando la técnica de retrocálculo de módulos, y usando dos escenarios de curva deformada:

- Aquella definida por las deflexiones promedio más media desviación estándar (percentil 70).
- Aquella definida por las deflexiones promedio más una desviación estándar (percentil 85).

Los resultados correspondientes se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Módulos de rigidez retrocalculados para el paquete estructural existente (2002).

Tramo	Segmento homogéneo	Percentil 70 de deflexiones				Percentil 85 de deflexiones.			
		Conc. Asfált.	Base	Sub-base	Sub-ras.(B)	Conc. Asfált.	Base	Sub-base	Sub-ras.(B)
San José – Alajuela	1	100000	25000	13000	13000	80000	22000	12000	12000
	2	70000	18000	8000	12000	(A)	(A)	(A)	(A)
	3	40000	18000	8000	9000	(A)	(A)	(A)	(A)
	3A	40000	8000	5000	8000	(A)	(A)	(A)	(A)
	4	300000	30000	15000	14000	230000	23000	12000	12000
	5	80000	18000	8000	12000	(A)	(A)	(A)	(A)
	5C	70000	12000	8000	12000	(A)	(A)	(A)	(A)
	6	100000	30000	15000	12000	80000	18000	10000	12000
Alajuela – San José	1	80000	18000	10000	14000	70000	18000	6000	12500
	2	175000	21000	13000	15000	170000	18000	8000	13500
	3	390000	27000	6000	18000	390000	22000	10000	18000
	4	190000	18000	7000	14000	170000	18000	6000	12500
	5	75000	17000	6000	14000	65000	16000	6000	12000
	6	9000	16000	10000	18000	75000	16000	6000	17000
	7	150000	20000	7000	15500	115000	16000	6000	14000
	8	170000	17000	6000	12000	150000	16000	6000	10000

- (A) Segmentos con alta dispersión y alto nivel de deterioro. El análisis de retrocálculo en estos casos se limita al percentil 70 de deflexión medida, y se excluyen los casos puntuales extremos, que son considerados independientemente (segmentos indicados en la Tabla 3).

(B) No ha sido sujeto a variación estacional.

3. DISEÑO DE REFUERZO ESTRUCTURAL

3.1. Proyecciones de tránsito.

La Tabla 6 presenta los conteos de tránsito y porcentajes de crecimiento, aplicables a la Autopista General Cañas, disponibles en la Unidad de Estudios Básicos del MOPT.

Tabla 6: Conteos de tránsito y distribución de flota vehicular.

Zona	TPD	Año	% crecimiento	Distribución de flota vehicular (%)					
				Livia-nos	Buses	Carga liviana	C2	C3	T3-S2
(A)	65870	1998	0	69.0	20.4	6.1	3.6	0.6	0.3
(B)	69405	1999	5	70.0	17.3	4.2	5.8	1.1	1.7
(C)	51905	1998	10	61.2	24.5	4.9	6.3	1.1	2.0

(A) Sabana – Hospital México.

(B) Hospital México – Aeropuerto Juan Santamaría.

(C) 100 m Este de intersección para Aeropuerto Juan Santamaría.

La Tabla 7 presenta los factores camión usados para el cálculo de los ejes equivalentes.

Tabla 7: Factores camión usados para cálculo de ejes equivalentes (A).

Tipo	Liviano	Bus	Carga liviana	C2	C3	T3-S2
Factor camión	0.001	1.0	0.3	1.0	1.6	2.5

(A) Fuente: estudios previos del LANANME.

La Tabla 8 presenta las proyecciones de carga de tránsito a partir de cada sondeo disponible, así como los correspondientes ejes equivalentes para un período de tres años (2003-2006). Las magnitudes de carga correspondientes se consideran, por tanto, escenarios bajo, medio y alto.

Tabla 8: Escenarios de carga de tránsito.

Escenario	TPD en 2002	Ejes equivalentes	Ejes equivalentes para carril de diseño (D)
(A)	65870	5.5 millones	2.2
(B)	80345	8.1 millones	3.2
(C)	75994	10.8 millones	4.4

(A) Sabana – Hospital México.

(B) Hospital México – Aeropuerto Juan Santamaría.

(C) 100 m Este de intersección para Aeropuerto Juan Santamaría.

(D) Factor direccional de 0.50, y factor carril de 0.80.

Nota: no se ha considerado un límite máximo por capacidad, en vista de lo corto del período de diseño (tres años), y con el propósito de considerar condiciones críticas de carga en el escenario de carga alta.

3.2. Parámetros de diseño.

De acuerdo con la Guía de diseño de la AASHTO (1993), se aplicaron los siguientes parámetros para el dimensionamiento del refuerzo estructural requerido:

- Nivel de confianza del 95 %.
- Desviación estándar: $s_0 = 0.45$.
- Índice terminal de habilidad de servicio: $P_t = 2.50$.
- Módulo resiliente de la sub-rasante:
 - San José – Alajuela: 6000 psi.
 - Alajuela – San José, tramos 3 y 6: 7000 psi.
 - Alajuela – San José, tramos 1, 2, 4, 5, 7 y 8: 6500 psi.

Nota: el módulo resiliente de la sub-rasante para diseño se obtiene al factorar el módulo retrocalculado a partir del ensayo deflectométrico por un coeficiente de variación estacional. Se han contrastado, además, los módulos de rigidez retrocalculados con los valores de CBR medidos a partir de sondeos en el proyecto (1999).

3.3. Espesor de sobre-capa de acuerdo con la metodología de AASHTO 1993.

Se determinaron los espesores de sobre-capa para cada segmento homogéneo, de acuerdo con 12 posibles combinaciones:

- Dos escenarios de deflexión (percentiles 70 y 85).
- Dos escenarios de espesores existentes (percentiles 15 y 50).
- Tres escenarios de cargas de tránsito. De acuerdo con Sección 3.1.

La Tabla 9 presenta los espesores de diseño correspondientes al percentil 70 de deflexiones y al percentil 15 de espesores.

Tabla 9: Espesores de sobrecapa de acuerdo con metodología AASHTO 1993.

Tramo	Segmento homogéneo	Espesor de sobrecapa (cm)		
		EEQ1	EEQ2	EEQ3
San José – Alajuela	1	9.2	11.0	12.2
	2	10.0	11.8	13.0
	3	11.5	13.3	14.5
	3A	(*)	(*)	(*)
	4 (**)	0.1	1.9	3.1
	5	10.5	12.3	13.5
	5C	11.4	13.3	14.5
	6	8.8	10.6	11.8
Alajuela – San José	1	9.3	11.1	12.3
	2	4.0	5.9	7.1
	3	0.0	0.0	0.0
	4	4.7	6.5	7.7
	5	10.2	12.1	13.3
	6	5.8	7.6	8.9
	7	7.0	8.8	10.0
	8	6.4	8.3	9.5

(*) Segmento para reconstrucción.

(**) Aplicar espesor mínimo de sobrecapa.

3.4. Revisión de vida útil por agrietamiento a la fatiga y deformación plástica.

La Tabla 10 presenta la revisión de espesor mínimo para los segmentos homogéneos donde la capa asfáltica presenta un mayor nivel de deterioro (módulos de rigidez inferiores o iguales a 100000 psi). Se aplican los criterios de agrietamiento por fatiga y deformación plástica.

En todos los casos se cumple con el mínimo de ejes equivalentes correspondiente al escenario de carga bajo, y en la mayoría con el escenario de carga media. Es de esperar un mejor desempeño, sin embargo, por la reparación previa en la capa de apoyo para la sobrecapa (bacheo, sello de fisuras y grietas, prenivelación).

Tabla 10: Revisión de espesor mínimo por agrietamiento a la fatiga y deformación plástica.

Tramo	Segmento homogéneo	Espesor de sobrecapa (cm)	Vida útil por agrietamiento por fatiga		Vida útil por deformación plástica	
			ϵ_t	N_f (A)	ϵ_v	N_r (B)
San José – Alajuela	1	11.0	0.176 E-3	3.0 E6	0.371 E-3	3.1 E6
	2	18.0	0.163 E-3	3.8 E6	0.282 E-3	10.7 E6
	3	21.5	0.165 E-3	3.7 E6	0.263 E-3	14.6 E6
	5	15.5	0.173 E-3	3.2 E6	0.307 E-3	7.3 E6
Alajuela – San José	1	14.5	0.176 E-3	3.0 E6	0.297 E-3	8.4 E6
	5	15.0	0.180 E-3	2.8 E6	0.280 E-3	11.0 E6
	6	12.0	0.174 E-3	3.1 E6	0.293 E-3	9.0 E6
	7 (C)	9.0	0.115 E-3	12.1 E6	0.305 E-3	7.5 E6

(A) Modelo PDMAP (Finn y otros, 1986), para 45 % de área agrietada. Considerando un módulo de rigidez para la capa asfáltica de superficie de 400000 psi.

(B) Modelo del Instituto del Asfalto, para una deformación plástica promedio de 13 mm.

(C) En este caso el módulo de rigidez de la capa asfáltica existente es 170000 psi; se incluye como ilustración de que para módulos de rigidez en capas de apoyo de más de 100000 psi, no es necesario un ajuste al espesor de la sobrecapa, de acuerdo con las leyes de agrietamiento por fatiga y deformación plástica en este caso particular.

3.5. Espesor de sobrecapa asfáltica a aplicar.

Considerando los resultados de las Secciones 3.3 y 3.4, se plantean los espesores de sobrecapa de la Tabla 11.

Tabla 11: Espesores de sobrecapa.

Tramo	Segmento homogéneo	Espesor de sobrecapa (cm)
San José – Alajuela	1	11.0
	2	18.0
	3	21.5
	3A	(*)
	4	4.0
	5	15.5
	5C	21.5
	6	11.0
Alajuela – San José	1	14.5
	2	6.0
	3	0.0
	4	6.5
	5	15.0
	6	12.0
	7	9.0
	8	8.5

(*) Segmento para reconstrucción.

3.6. Segmentos homogéneos donde aplica la escarificación parcial de la capa asfáltica.

Con el propósito de adecuar los espesores de sobrecapa a la realidad geométrica de la valla medianera (incremento a nivel de rasante de no más de 7.0 cm), se plantea la alternativa de escarificar parcialmente la capa asfáltica actual, con el propósito de que el nuevo nivel de rasante no exceda el máximo admisible (situación que determinaría la falla funcional de la valla medianera).

La Tabla 12 indica el espesor de sobrecapa asfáltica adicional, requerido por unidad de superficie existente escarificada.

Tabla 12: Espesor de sobrecapa asfáltica adicional, requerido por cada unidad de superficie existente escarificada.

Tramo	Segmento homogéneo	Espesor de sobrecapa asfáltica por cada centímetro de superficie existente escarificada (cm)
San José – Alajuela	1	0.50
	2	0.50
	3	0.45
	3A	Tramo para reconstrucción
	4	No aplica (*)
	5	0.50
	5C	0.50
	6	0.50
Alajuela – San José	1	0.50
	2	No aplica (*)
	3	No aplica (*)
	4	No aplica (*)
	5	0.50
	6	0.50
	7	0.63
	8	0.68

(*) Segmentos donde no hay incumplimiento a la restricción geométrica, al colocar una sobrecapa.

Ejemplo:

Para el segmento No. 6 de San José – Alajuela, cada 1.0 cm de capa asfáltica existente que sea escarificado requiere la consideración adicional de 0.50 cm de sobrecapa asfáltica. Así, la escarificación de 10 cm de capa asfáltica existente implica el incremento de 5 cm en el espesor de sobrecapa definido en el Apartado 3.5.

3.7. Estabilización con emulsión asfáltica y sobrecapa.

De acuerdo con las restricciones geométricas para el proyecto (incremento máximo en nivel de rasante de 7.0 cm), se ha considerado el curso de acción alternativo de:

- Escarificar y retirar 3.0 cm de la capa asfáltica existente.
- Estabilizar con emulsión asfáltica los siguientes 17.0 cm de la capa asfáltica existente.
- Colocar una sobrecapa de 10.0 cm.

Donde el nivel de rasante aumenta en 7.0 cm.

En la Tabla 13 se presenta la verificación de resistencia al agrietamiento por fatiga y deformación plástica, en términos de ejes equivalentes simples de 8200 kg, para dicha estrategia de rehabilitación.

Tabla 13: Revisión de espesor mínimo por agrietamiento a la fatiga y deformación plástica.

Tramo	Segmento homogéneo	Percentil de espesores	Vida útil por agrietamiento por fatiga		Vida útil por deformación plástica	
			ϵ_t (E-6)	N_f (E6) (A)	ϵ_v (E-6)	N_r (E6) (B)
San José – Alajuela	2	50	167	6.4	208	103.6
		15	192	4.0	278	32.5
	3	50	185	4.6	246	53.0
		15	263	1.4	325	17.4
	5	50	163	6.9	207	105.7
		15	191	4.1	278	32.5
	6	50	200	3.5	385	8.8
		15	239	2.0	493	3.3
Alajuela – San José	1	50	152	8.7	191	145.8
		15	166	6.5	226	74.4
	5	50	159	7.5	192	142.8
		15	170	6.0	240	58.5
	6	50	150	9.1	157	319.3
		15	162	7.1	194	137.0

(A) Modelo PDMAP (Finn y otros, 1986), para 45 % de área agrietada. Considerando un módulo de rigidez para la capa de ruedo de 400000 psi, y de 200000 psi para la base estabilizada con emulsión asfáltica.

(B) Modelo del Instituto del Asfalto, para una deformación plástica promedio de 13 mm.

Considerando que los segmentos homogéneos 1,5 y 6, en el sentido Alajuela-San José presentan un menor nivel de deterioro que los correspondientes a San José-Alajuela, se considera como alternativa:

- Escarificar y retirar 2.0 cm de la carpeta existente.
- Estabilizar con emulsión asfáltica los siguientes 17.0 cm de la capa asfáltica existente.
- Colocar una sobrecapa de 8.5 cm.

En la Tabla 14 se presenta la verificación de resistencia al agrietamiento por fatiga y deformación plástica, en términos de ejes equivalentes simples de 8200 kg.

Tabla 14: Revisión de espesor mínimo por agrietamiento a la fatiga y deformación plástica.

Tramo	Segmento homogéneo	Percentil de espesores	Vida útil por agrietamiento por fatiga		Vida útil por deformación plástica	
			ϵ_t (E-6)	N_r (E6) (A)	ϵ_v (E-6)	N_r (E6) (B)
Alajuela - San José	1	50	168	6.3	354	12.4
		15	199	3.6	473	3.9
	5	50	175	5.5	375	9.8
		15	206	3.2	493	3.3
	6	50	164	6.8	353	12.5
		15	198	3.7	473	3.9

(A) Modelo PDMAP (Finn y otros, 1986), para 45 % de área agrietada. Considerando un módulo de rigidez para la capa de ruedo de 400000 psi, y de 200000 psi para la base estabilizada con emulsión asfáltica.

(B) Modelo del Instituto del Asfalto, para una deformación plástica promedio de 13 mm.

Adicionalmente, para el segmento homogéneo 3A se recomienda aplicar inyecciones con el propósito de estabilizar el material de sub-rasante, y lograr un CBR mínimo de 5% al 91% de compactación (Próctor Estándar).

3.8. Recomendación de estrategias de rehabilitación.

Las Figuras 1, 2, 3, 4 y 5 ilustran las estrategias de rehabilitación recomendadas por segmento homogéneo.

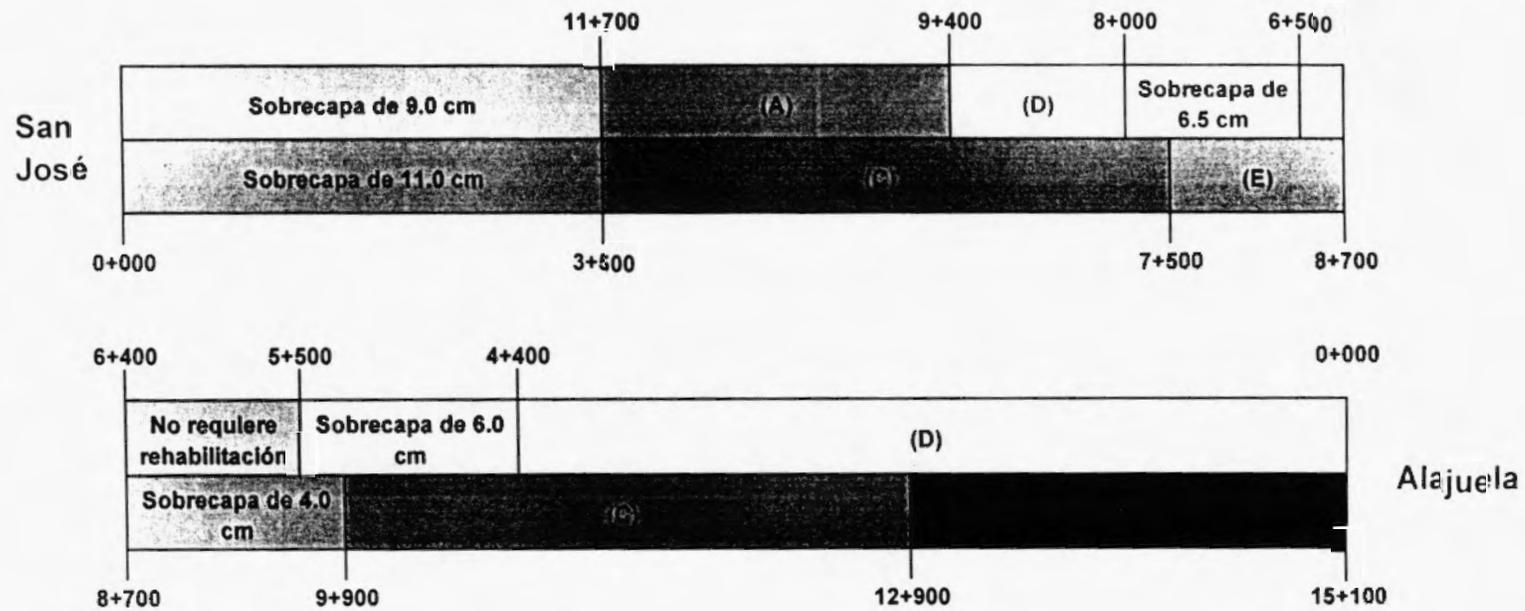


Figura 1: Esquema de opciones de rehabilitación.

Ver esquema ilustrativo de estrategias (A), (E), (C), (D) y (E) en Figuras 2, 3, 4, 5 y 6, respectivamente.

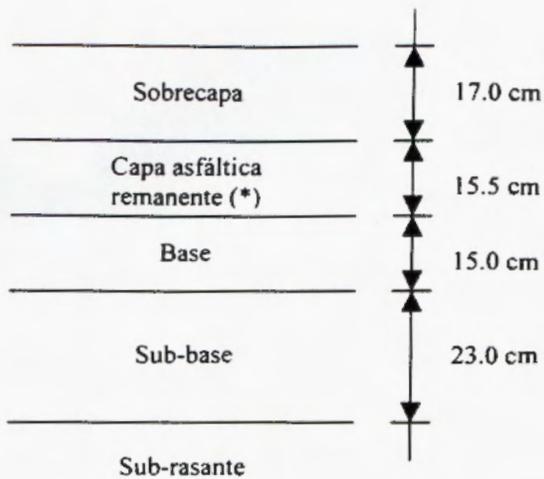


Figura 2: Opción de rehabilitación A.

(*) Se escarifican 10.0 cm de superficie existente; el nivel de rasante aumenta 7.0 cm.

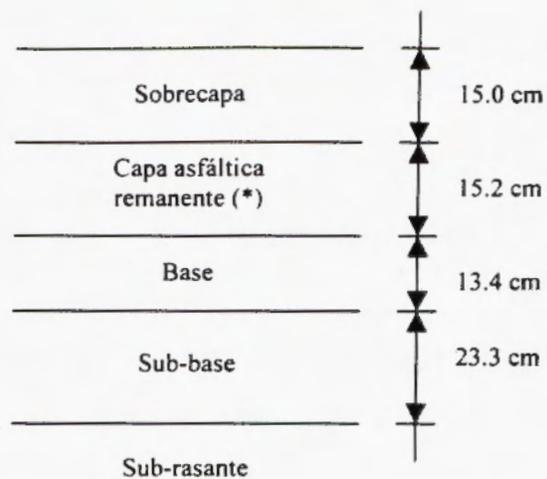


Figura 3: Opción de rehabilitación B.

(*) Se escarifican 8.0 cm de superficie existente; el nivel de rasante aumenta 7.0 cm.

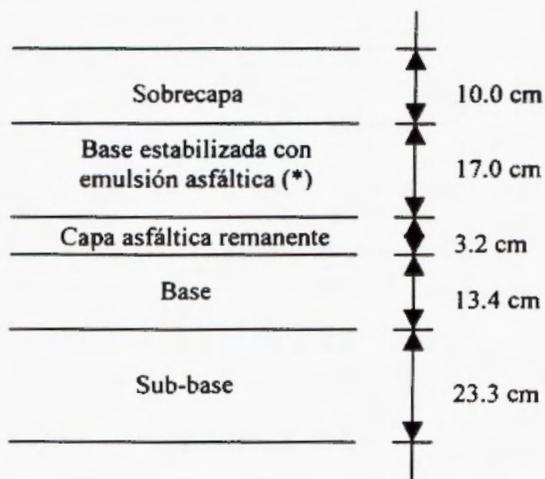


Figura 4: Opción de rehabilitación C.

(*) Se escarifican 3.0 cm de capa asfáltica existente; se estabilizan con emulsión asfáltica los siguientes 17.0 cm. El nivel de rasante aumenta 7.0 cm.

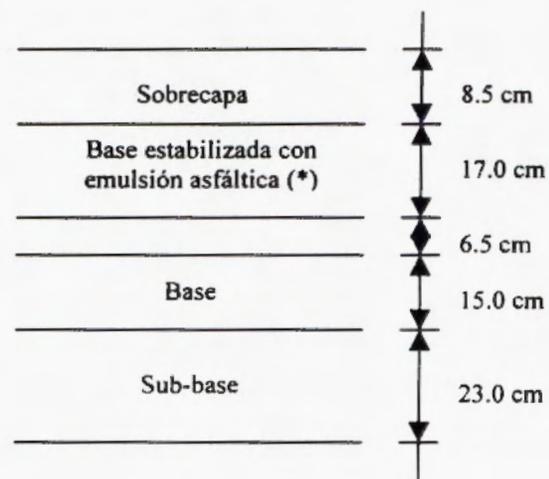


Figura 5: Opción de rehabilitación D.

(*) Se escarifican 2.0 cm de capa asfáltica existente; se estabilizan con emulsión asfáltica los siguientes 17.0 cm. El nivel de rasante aumenta 6.5 cm.

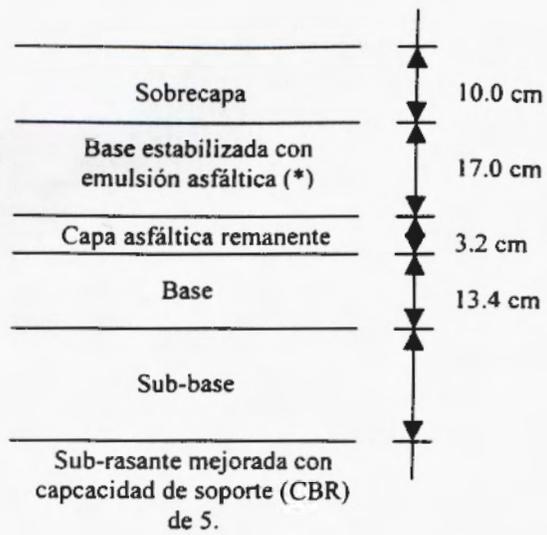


Figura 6: Opción de rehabilitación E.

(*) Se escarifican 3.0 cm de capa asfáltica existente; se estabilizan con emulsión asfáltica los siguientes 17.0 cm. El nivel de rasante aumenta 7.0 cm.

4. CONCLUSIONES

4.1. Respecto a las estrategias de rehabilitación.

Las estrategias de rehabilitación, por segmento homogéneo, se presentan en la Sección 3.8.

4.2. Consideraciones adicionales.

4.2.1. Trabajos previos a la colocación de la sobrecapa.

De previo a la aplicación de sobrecapas, se requiere:

- Preparación de una superficie horizontal. Sea por perfilado y/o aplicación de una capa de prenivelación.
- Preparación de una superficie estable. Con sello de fisuras y grietas, y bacheo.
- Preparación de una interfase de adherencia, con la aplicación de un riego de liga con emulsión asfáltica.

Nota: los mismos criterios aplican en los casos de escarificación parcial de capa superficial existente, de previo a la colocación de sobrecapa.

Adicionalmente, con el propósito de incrementar la vida útil del pavimento, y controlar el reflejo de grietas, se recomienda la colocación de una capa geotextil, de previo a la aplicación de la sobrecapa. Se debería considerar su aplicación como mínimo en las zonas del pavimento existente con mayor nivel de agrietamiento por fatiga (agrietamiento longitudinal y tipo cuero de lagarto), y con menores módulos de rigidez (de acuerdo con la Tabla 3).

4.2.2. Trabajos previos a la escarificación y estabilización con emulsión asfáltica.

En el segmento definido por el estacionamiento 7+500 a 8+700 debe inyectarse el material de sub-rasante con un agente estabilizante que permita obtener un CBR mínimo de 5% al 91% de compactación (Próctor Estándar), al menos en los 50.0 cm superiores de la capa de sub-rasante. Alternativamente, es factible considerar la reconstrucción del segmento, incluyendo reemplazo del material de sub-rasante.

**Tabla A1: Resultados de evaluación de material de sub-rasante.
Autopista General Cafias (*).**

Propiedades	Muestra No. 1444-02
GRANULOMETRIA (2)	
Agregado pasando tamiz 50.0 mm (%)	100
Agregado pasando tamiz 37.5 mm (%)	100
Agregado pasando tamiz 25.4 mm (%)	100
Agregado pasando tamiz 19.0 mm (%)	100
Agregado pasando tamiz No.4 (%)	100
Agregado pasando tamiz No.10 (%)	100
Agregado pasando tamiz No.40 (%)	99
Agregado pasando tamiz No.200 (%)	96

Propiedades	Muestra No. 1444-02	
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	Humedad (%)	Dens. seca (kg/m3)
Pastilla No. 1	28,3	1060
Pastilla No. 2	33,4	1322
Pastilla No. 3	30,6	1231
Pastilla No. 4	35,1	1289
Optimo	32,4	1345

LIMITES DE ATTERBERG	
Límite líquido (%) (3)	49,9
Límite plástico (%)	30,6
Índice de plasticidad (%) (4)	19,4

ENSAYO DE CBR	Compact. (%)	Humedad (%)	Índice de soporte CBR (%)	
			Deformación de 0.254 cm	Deformación de 0.508 cm
Material densificado en el laboratorio	97,5	36,7	2,0	1,5
	96,9	36,7	1,7	1,2
	95,4	36,7	1,4	1,1

(* Muestra del 2 de octubre de 2002. Tomada 200 m al Este del Real Cariari.