

**INFORME  
VALORACIÓN DE PAQUETE  
ESTRUCTURAL  
PUENTE RIO TEMPISQUE**

**JHONNY BARTH R.**



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales

LANAMME

AM  $\rightarrow$  *empas para este informe tecnico y tambien archivar*  
San José, 20 de noviembre de 2002.

LM-PI-PMR-AS-05-02

**Ing. Johnny Barth R.,  
Director de Ingeniería,  
CONAVI**

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
Laboratorio Nacional de Materiales  
y Modelos Estructurales

20 NOV. 2002

RECIBIDO

Firma: Ana 7:00

*gomez*

Estimado don Johnny:

En atención a su solicitud, del Oficio DI. 02-1731, recibido por nosotros el 13 de noviembre de 2002, me permito remitirle el informe de Valoración del paquete estructural propuesto para el proyecto de accesos al puente sobre el Río Tempisque, donde se comenta la aplicabilidad de la estructura de pavimento descrita en el informe Accesos al puente sobre el Río Tempisque: Diseño de Pavimentos, Alternativa II, de IMNSA.

Sin otro particular, me despido cordialmente,

Atentamente,

**Candidato a Ph.D. Pedro Castro Fernández, MSCE, MBA,  
Programa PITRA, LANAMME,  
Universidad de Costa Rica**

CC:

Ing. Orlando Dobles, Dirección de Ingeniería, CONAVI,  
Dr. Juan Pastor Gómez, Director, LANAMME,  
Ing. Mario Arce, Coordinador, Programa PITRA, LANAMME,  
MSc. Ing. Marco Rodríguez, Programa PITRA, LANAMME,  
Ing. Eduardo Rojas, Programa PITRA, LANAMME,  
Archivo.

## **VALORACIÓN DEL PAQUETE ESTRUCTURAL PROPUESTO PARA EL PROYECTO DE ACCESOS AL PUENTE SOBRE EL RIO TEMPISQUE**

### **1. Introducción.**

De conformidad con IMNSA, Estudios para accesos del Tempisque, e IMNSA, Accesos al puente sobre el Río Tempisque: Diseño de Pavimentos, Alternativa II (31 de octubre de 2002), se plantea la siguiente propuesta de paquete estructural:

1. Capa asfáltica de 10.0 cm.
2. Base granular de 50.0 cm.
3. Sub-base de 25.0 cm. Incluye mejoramiento con cemento.
4. Colocación de geocompuesto sobre la estructura de pavimento remanente (incluyendo una capa de relleno existente).

El presente informe corresponde a un diagnóstico de aplicabilidad para tal estructura de pavimento.

### **2. Alcance.**

Seguidamente se hace una valoración de la capacidad estructural de la sección propuesta, de acuerdo con la metodología de diseño AASHTO de 1993, y con base en una evaluación de resistencia al agrietamiento por fatiga y deformación plástica, de acuerdo con modelaciones mecánicas y ecuaciones de correlación soportadas por el National Highway Institute, de la Federal Highway Administration (EUA).

Considérese que la definición de cargas vehiculares y parámetros de diseño es realizada por el LANAMME con base en la información suministrada por IMNSA en sus informes, considerando, adicionalmente, la normativa de materiales para carreteras de las Especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-77).

### **3. Estimación de cargas de tránsito de diseño.**

De acuerdo con IMNSA, Estudios para Accesos del Tempisque, Capítulo 2, el tránsito promedio diario estimado para el proyecto, en el período 2002-2003, es de 1849 vehículos, con porcentaje de crecimiento de 6 % anual. Haciéndose la anotación de que dicho dato fue suministrado por la Subdirección de Planificación del MOPT.

Adicionalmente, el estudio de IMNSA hace referencia a dos conteos de tránsito en rutas existentes y circunvecinas al tramo de acceso al puente sobre el Río Tempisque. La Tabla 1 presenta los porcentajes de distribución vehicular disponibles.

**Tabla 1: Porcentajes de distribución vehicular con base en conteos de tránsito existentes.**

Tramo	Porcentajes de distribución vehicular (%)					
	Livianos	Bus	CL	C2	C3	T3-S2
Limal - La Palma - Río Tempisque (*)	30.0	4.2	37.1	10.2	2.1	16.4
Río Tempisque - Pueblo Viejo (*)	41.8	4.6	41.2	9.4	1.0	2.0

(\*) Nótese que el tramo Limonal - La Palma - Río Tempisque representa un escenario crítico de carga alta, poco probable de darse en el pavimento de los accesos al puente sobre el Río Tempisque, pues incluye camiones articulados usuarios de la planta de CEMEX; mientras que el tramo Río Tempisque - Pueblo Viejo representa un escenario crítico de carga baja, igualmente poco probable de darse en el pavimento de los accesos al Río Tempisque, dada la demanda de transporte generada por la nueva vía. Se aplican ambos escenarios de distribución vehicular por carencia de información más detallada y adecuada al proyecto en específico, considerando que en conjunto definen escenarios extremos de carga; es decir, la distribución vehicular para el proyecto específico de los accesos para el puente sobre el Río Tempisque es muy probablemente intermedia entre los dos escenarios propuestos.

Con base en las estimaciones de TPD y porcentaje de crecimiento, y los dos escenarios de distribución vehicular (considerando el comentario específico respecto a que representan escenarios críticos de carga), se presentan los cálculos de tránsito promedio diario por tipo de vehículo, por escenario de distribución vehicular, de la Tabla 2.

**Tabla 2: Tránsito promedio diario por tipo de vehículo (\*).**

Tramo	Tránsito promedio diario					
	Livianos	Bus	CL	C2	C3	T3-S2
Distribución vehicular 1 (**)	554	78	686	189	39	303
Distribución vehicular 2 (***)	772	85	762	174	19	37

(\*) Suponiendo un TPD de 1849 vehículos. Referido como dato suministrado por la Subdirección de Planificación del MOPT, de acuerdo con IMNSA, Estudios para Accesos del Tempisque, Capítulo 2, pp. 28.

(\*\*) Conteo en Limonal - La Palma - Río Tempisque.

(\*\*\*) Conteo en Río Tempisque - Pueblo Viejo de Nicoya.

Usando los factores camión de la Tabla 3, y planteando ocho escenarios de diseño, con base en cantidad de años y escenario de distribución vehicular, se establecen los escenarios de carga, en ejes equivalentes simples de 8200 kg, de la Tabla 4.

**Tabla 3: Factor camión por tipo de vehículo.**

Tipo de vehículo	Factor camión
Liviano	0.001
Bus	1.0
CL	0.5
C2	1.0
C3	1.5
T3-S2	2.5

Fuente: estudios previos del LANAMME.

**Tabla 4: Ejes equivalentes en carril de diseño. Porcentaje de crecimiento anual del 6.0 % (sin agotar capacidad de la vía).**

Período de diseño	Escenario de distribución vehicular					
	Distribución vehicular 1			Distribución vehicular 2		
	EEQ año	EEQ total	EEQ dis. (*)	EEQ año	EEQ total	EEQ dis. (*)
10 años	521000	6.9 E6	3.4 E6	278000	3.7 E6	1.8 E6
12 años	521000	8.8 E6	4.4 E6	278000	4.7 E6	2.3 E6
15 años	521000	12.1 E6	6.1 E6	278000	6.5 E6	3.2 E6
20 años	521000	19.2 E6	9.6 E6	278000	10.2 E6	5.1 E6

(\*) Considerando un factor direccional de 0.5 y un factor carril de 1.0.

## 2. Propiedades de los materiales.

La Tabla 5 presenta los módulos de rigidez correspondientes a los materiales a aplicar en el paquete estructural propuesto para el proyecto, necesarios para valorar el dimensionamiento de la estructura por el método AASHTO de 1993.

**Tabla 5: Propiedades de los materiales en la estructura de pavimento.**

Material	Módulo de rigidez (psi)	Coefficiente estructural $a_i$	Coefficiente de drenaje $m_i$
Carpeta asfáltica	400000	0.400	x
Base granular	28000 (*)	0.135	0.9
Sub-base	14500 (**)	0.110	0.9
Sub-rasante	3000 (***)	x	x

(\*) CBR de 80 %, al 95 % de compactación Proctor modificado.

(\*\*) CBR de 30 %, al 95 % de compactación Proctor modificado.

(\*\*\*) CBR de 2 %, de acuerdo con sondeos reportados en IMNSA, Estudios para Accesos del Tempisque, Capítulo 2, pp. 33-34.

Notas:

- Considérese que los módulos de rigidez para las capas de base granular, sub-base y sub-rasante, representan condiciones de diseño, de acuerdo con los criterios de la AASHTO (1993) para capacidad de soporte en función de CBR. Es decir, son parámetros promedio factorados en función de la variación estacional en capacidad de soporte.
- El aporte estructural de la capa de geocompuesto, si bien es claro en el sentido cualitativo, no está comprendido por la metodología de diseño AASHTO, ni por la metodología mecánica para la modelación estructural de pavimentos. La aplicación del geocompuesto debe ser considerada como un factor de seguridad al paquete estructural.

### 3. Parámetros de diseño AASHTO 1993.

Los parámetros de diseño a aplicar, de acuerdo con el método AASHTO 1993, son:

- Nivel de confianza: 90 %
- Desviación estándar en estimación de PSI terminal para pavimento flexible:  $S_0 = 0.45$ .
- PSI terminal:  $P_t = 2.5$ .

La Tabla 6 presenta el cálculo de número estructural (SN) requerido por escenario de carga, considerando la capacidad estructural a proveer en tres capas de soporte:

- Paquete estructural total. Estructura de pavimento sobre la sub-rasante (SN3).
- Estructura de pavimento sobre la sub-base (SN2).
- Estructura de pavimento sobre la base (SN1).

**Tabla 6: Número estructural requerido por capa de soporte según metodología AASHTO 1993.**

Período de diseño	Escenario de distribución vehicular					
	Distribución vehicular 1			Distribución vehicular 2		
	SN3	SN2	SN1	SN3	SN2	SN1
10 años	5.73	3.30	2.56	5.26	2.97	2.31
12 años	5.93	3.45	2.68	5.44	3.10	2.40
15 años	6.20	3.64	2.83	5.69	3.27	2.54
20 años	6.57	3.91	3.01	6.05	3.53	2.74

SN1: capacidad estructural requerida sobre capa de base.

SN2: capacidad estructural requerida sobre capa de sub-base.

SN3: capacidad estructural requerida sobre capa de sub-rasante.

La Tabla 7 presenta el cálculo de espesores mínimos requeridos para proveer la capacidad estructural de la Tabla 6. Se presentan los espesores mínimos de capa asfáltica, base granular y sub-base.

**Tabla 7: Espesor requerido para capa de apoyo según metodología AASHTO 1993 (cm).**

Período de diseño	Escenario de distribución vehicular					
	Distribución vehicular 1			Distribución vehicular 2		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
10 años	16.3	15.5	62.3	14.7	13.8	58.0
12 años	17.0	16.1	63.6	15.2	14.6	60.0
15 años	18.0	16.9	65.7	16.1	15.3	62.1
20 años	19.1	18.8	68.2	17.4	16.5	64.7

D1: espesor de capa asfáltica (cm).

D2: espesor de base (cm).

D3: espesor de sub-base (cm).

Considerando que el espesor de carpeta propuesto es de 10.0 cm, se concluye que dicho espesor de capa no es suficiente para satisfacer las condiciones de carga de ninguno de los escenarios propuestos.

#### 4. Capacidad de resistencia al agrietamiento por fatiga y deformación plástica.

El paquete estructural propuesto es valorado a partir de la estimación de ejes equivalentes simples de 8200 kg para la falla, por agrietamiento a la fatiga y a la deformación plástica.

Nota: considerese que la metodología de diseño AASHTO 1993 se basa en el criterio de índice de servicio (PSI), de manera que el cumplimiento de los criterios de diseño de la AASHTO en un período de diseño específico determina la capacidad estructural (que debe ser provista para cada capa de acuerdo con los requisitos mínimos de espesor), para que el índice de servicio no caiga por debajo de un mínimo tolerable (índice de servicio terminal). Una valoración de la sección de pavimento debe, por lo tanto, ser complementada a partir de un análisis estructural por capacidad al agrietamiento por fatiga y deformación plástica.

La Tabla 8 valora la capacidad del paquete estructural propuesto, por agrietamiento a la fatiga y deformación plástica. Las deformaciones unitarias fueron determinadas a partir de una modelación multicapa elástica con el programa Elsym5.

**Tabla 8: Verificación de vida útil por agrietamiento a la fatiga y deformación plástica en el paquete estructural propuesto.**

Modelo de regresión	Arietamiento por fatiga		Deformación plástica	
	$\epsilon_t$	$N_f$	$\epsilon_v$	$N_r$
Shell	0.401 E-3	0.1 E6	-0.381E-3	5.0 E6 (*)
PDMAP (10 %)	0.401 E-3	0.1 E6	-0.381E-3	N/A
PDMAP (45 %)	0.401 E-3	0.2 E6	-0.381E-3	N/A
Instituto del Asfalto	0.401 E-3	0.2 E6	-0.381E-3	2.8 E6

(\*) Modelo de regresión Shell al 95 % de confianza.

De acuerdo con todos los escenarios de carga planteados en la Tabla 4, el paquete estructural propuesto evidencia una vida útil por agrietamiento a la fatiga muy inferior a las cargas de diseño estimadas (insuficiente espesor de capa).

## 5. CONCLUSIÓN

Para todos los escenarios de carga planteados, en función del período de diseño y la distribución vehicular, se ha encontrado que:

- El paquete estructural propuesto no cumple con los requisitos de diseño estructural AASHTO 1993.
- El paquete estructural propuesto presenta una vida útil proyectada, por agrietamiento a la fatiga, muy inferior a los escenarios de carga planteados.

Considérese adicionalmente:

- El modelo de distribución vehicular disponible para el proyecto no tiene un soporte técnico adecuado. La información correspondiente ha sido útil para realizar un diagnóstico general de la aplicabilidad de la estructura de pavimento, con base en escenarios críticos de carga; pero la eventual formulación de otras opciones estructurales requiere la definición, más detallada, de una distribución vehicular más específica para el proyecto.