



10

CONSEJO DE SEGURIDAD VIAL
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTES

PROYECTO
AUTOPISTA GENERAL CAÑAS

2. DISEÑO DE SOBRECAPA DE CONCRETO
(WHITETOPPING)

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**

**2. DISEÑO DE SOBRECAPA DE CONCRETO
(WHITETOPPING)**

INFORME FINAL

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



MARZO 1997

DISEÑO DE SOBRECAPA DE CONCRETO

(WHITETOPPING).

1- Aspectos generales.

El análisis de esta alternativa de colocar una sobrecapa de concreto se fundamenta en el método propuesto por la American Concrete Pavement Association (ACPA) de los Estados Unidos.

Este enfoque metodológico propone como alternativa de rehabilitación de un pavimento asfáltico fatigado, la colocación de una sobrecapa de concreto de cemento Portland, que cumpla con los siguientes requerimientos:

- * Proporciona la capacidad estructural a fatiga que requiere el pavimento nuevo para las condiciones de tránsito que debe soportar durante el período de diseño que se defina (en este caso 22 años).

- * Corrige el problema de las deformaciones del pavimento existente.

- * Controla los problemas de reflejo de grietas provenientes de las capas existentes agrietadas.

Bajo estas premisas, que establece el método de diseño de la ACPA, se procedió a un análisis estructural con el propósito de proponer un pavimento que fuese estructuralmente equivalente al diseño originalmente propuesto. Para esto fue necesario readecuar el método de la ACPA por módulo de rotura del concreto y por nivel de confiabilidad. Adicionalmente se hizo un análisis multicapa elástico con el propósito de determinar qué factor de seguridad utiliza este método en el cálculo del módulo de reacción a nivel de la base de apoyo de la losa. Adelante se detalla este proceso de análisis.

2 - Análisis de tránsito y solicitaciones de carga.

La asignación de carga de tránsito se efectuó a partir del modelo de demanda para la opción de tres carriles. Conviene aclarar que este modelo incluye la alternativa de entrada en operación de la ruta Ciudad Colón - Orotina en el año 2005.

En virtud de que dicho modelo de demanda predice el flujo vehicular por tipo de vehículo, se asignó un factor de equivalencia de carga, considerando dicha clasificación, para luego asignar las cargas al carril de diseño (65 % del total de ejes equivalentes).

En la Tabla No. 1 se resumen los resultados de este análisis, incluyendo el TPD según el modelo de curva de demanda utilizado, la distribución porcentual por tipo de vehículo, los factores de equivalencia de carga y los ejes equivalentes acumulados hasta el año 30 de la vida de servicio.

3. Análisis estructural.

3-1. Esquema metodológico.

En el análisis estructural se aplicó una metodología que permitiese determinar una alternativa de sobrecapa de concreto equivalente estructuralmente al pavimento nuevo que se diseñó originalmente. Para esto se utilizó el siguiente procedimiento:

a. Los métodos de diseño propuestos por la ACPA (American Concrete Pavement Association).

b. La ecuación de la AASHTO:

$$\log W_{18} = Z_R * S_0 + 7.35 \log (D+1) - 0.06 + \left[\log \left\{ \frac{\delta \text{PSI}}{3.0} \right\} / \left(1 + \frac{\{1.624E7\}}{\{D+1\}^{8.46}} \right) \right] + (4.22 - 0.32 P_i) * \log \left\{ S'_c * C_d (D^{0.75} - 1.132) / (215.63 * J) * (D^{0.75} - 18.42 / (E_c/K)^{0.25}) \right\}$$

Donde:

Z_R : confiabilidad.

S_0 : desviación estándar en proceso constructivo global.

D : espesor de losa (in).

PSI: índice de servicio.

P_i : nivel de servicio al final de la vida útil de diseño.

S'_c : módulo de rotura del concreto (psi/in).

C_d : coeficiente de drenaje.

J : factor de transmisión de carga en las juntas.

E_c : módulo elástico del concreto.

K : módulo de reacción en la base de apoyo de la losa.

Tabla No. 1. Cálculo de ejes equivalentes en carril de diseño.
Escenario de uso de Autopista con 6 carriles con base en tramo hosp. México - Col. Castilla sin considerar efecto de peajes altos.

Años	TPD 6 carriles	Vehiculos anuales	Vehiculos anuales carril de diseño	Liviano	Bus	CL	C2	C3	T3-S2	Ejes equiv. p/año	Ejes equiv. p/año
1996	56,694	20,693,353	6,725,340	4203	437147	453960	423696	123746	176540	1619294	
1997	59,212	21,612,294	7,023,996	4390	456560	474120	442512	129242	184380	1691203	
1998	61,729	22,531,235	7,322,651	4577	475972	494279	461327	134737	192220	1763111	1763111
1999	64,247	23,450,176	7,621,307	4763	495385	514438	480142	140232	200059	1835020	3598132
2000	66,765	24,369,118	7,919,963	4950	514798	534598	498958	145727	207899	1906929	5505061
2001	68,106	24,858,647	8,079,060	5049	525139	545337	508981	148655	212075	1945236	7450297
2002	69,447	25,348,176	8,238,157	5149	535480	556076	519004	151582	216252	1983542	9433839
2003	70,788	25,837,706	8,397,254	5248	545822	566815	529027	154509	220428	2021849	11455688
2004	72,129	26,327,235	8,556,351	5348	556163	577554	539050	157437	224604	2060156	13515843
2005	73,471	26,816,765	8,715,449	5447	566504	588293	549073	160364	228781	2098462	15614305
2006	74,973	27,365,124	8,893,665	5559	578088	600322	560301	163643	233459	2141372	17755678
2007	76,475	27,913,482	9,071,882	5670	589672	612352	571529	166923	238137	2184282	19939960
2008	77,978	28,461,841	9,250,098	5781	601256	624382	582756	170202	242815	2227192	22167152
2009	79,480	29,010,200	9,428,315	5893	612840	636411	593984	173481	247493	2270103	24437255
2010	80,982	29,558,559	9,606,532	6004	624425	648441	605211	176760	252171	2313013	26750268
2011	82,485	30,106,918	9,784,748	6115	636009	660471	616439	180039	256850	2355923	29106190
2012	83,987	30,655,276	9,962,965	6227	647593	672500	627667	183319	261528	2398833	31505023
2013	85,489	31,203,635	10,141,181	6338	659177	684530	638894	186598	266206	2441743	33946766
2014	86,992	31,751,994	10,319,398	6450	670761	696559	650122	189877	270884	2484653	36431419
2015	88,494	32,300,353	10,497,615	6561	682345	708589	661350	193156	275562	2527563	38958993
2016	89,996	32,848,712	10,675,831	6672	693929	720619	672577	196435	280241	2570473	41529456
2017	91,499	33,397,071	10,854,048	6784	705513	732648	683805	199714	284919	2613383	44142839
2018	93,001	33,945,429	11,032,265	6895	717097	744678	695033	202994	289597	2656293	46799133
2019	94,504	34,493,788	11,210,481	7007	728681	756707	706260	206273	294275	2699204	49498336
2020	96,205	35,114,825	11,412,318	7133	741801	770331	718976	209987	299573	2747801	52246137
2021	97,936	35,746,640	11,617,658	7261	755148	784192	731912	213765	304964	2797242	55043379
2022	99,699	36,390,135	11,826,794	7392	768742	798309	745088	217613	310453	2847596	57890975
2023	101,494	37,045,310	12,039,726	7525	782582	812681	758503	221531	316043	2898865	60789840
2024	103,321	37,712,165	12,256,454	7660	796669	827311	772157	225519	321732	2951048	63740888
2025	105,180	38,390,700	12,476,978	7798	811004	842196	786050	229576	327521	3004144	66745032
2026	107,074	39,082,010	12,701,653	7939	825607	857362	800204	233710	333418	3058241	69803273
2027	109,001	39,785,365	12,930,244	8081	840466	872791	814605	237916	339419	3113279	72916552
% dist. veh.				62.5	6.5	22.5	6.3	1.15	1.05		
Factor cam.				0.001	1	0.3	1	1.6	2.5		

c. El modelo de la AASHTO para estimar el módulo de reacción a nivel de la base estabilizada.

d. El modelo de la PCA (Portland Cement Association) para estimar el módulo de reacción a nivel de la base granular.

e. El programa ELSYM5 para análisis multicapa elástico de esfuerzos y deformaciones.

3-2. Análisis estructural del modelo de la ACPA.

Por medio del modelo de la PCA se obtiene un módulo de reacción a nivel de la base existente de 5.0 kg/cm^3 , de modo que aplicando el modelo propuesto por ACPA se obtiene un módulo de 10 kg/cm^3 a nivel de la capa asfáltica existente.

Con los valores de soporte obtenidos, si se aplica el modelo de la ACPA, se obtiene que requiere de un espesor de sobrecapa de concreto de 26 cm de espesor, bajo las siguientes condiciones:

* Módulo de rotura del concreto de 49.3 kg/cm^2 .

* Confiabilidad del 50 %.

Para ajustar ese diseño a las condiciones del diseño original en términos de calidad del concreto y confiabilidad, con base en la ecuación de la AASHTO, se realizan las siguientes correlaciones:

* Variación del espesor de losa con el nivel de confianza.

* Efecto del módulo de reacción en el espesor de la losa para niveles de confianza de 90 y 95 %.

En las tablas siguientes se resumen los resultados de este análisis.

Tabla No. 2: Efecto del nivel de confianza del diseño en el espesor de la losa, para un módulo de rotura del concreto de 45 kg/cm^2 , desviación estándar global de 0.30 y módulo de reacción de la sub-rasante de 10 kg/cm^3 .

Espesor de losa (cm)	Nivel de confianza (%)
26	50
26.7	60
27.6	70
28.5	80
30	90
31.2	95

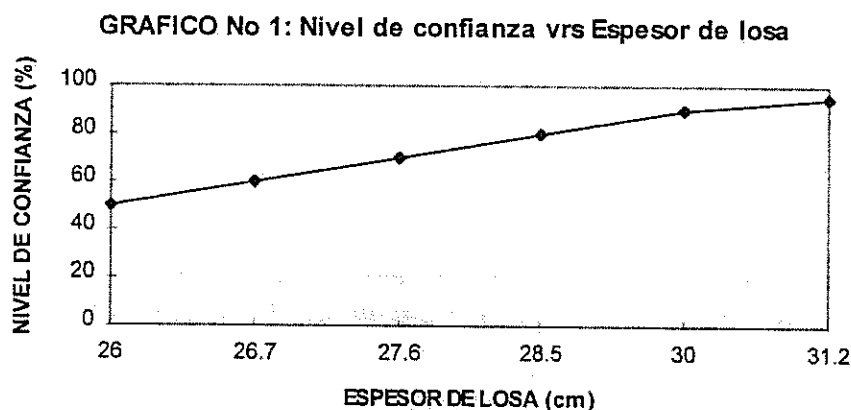


Tabla No. 3: Efecto del módulo de reacción en el espesor de la losa, para un nivel de confianza del 95 % (mismas condiciones de la Tabla No. 2).

Espesor de losa (cm)	Módulo de reacción de la sub-rasante (kg/cm^2)
31.4	8.3
31.2	10
30.8	12.5
30.3	16.6
29.7	22.2
29.2	27.7
28.6	34.7
28	41.6
27	55.5

GRAFICO No 2 : Módulo de reacción sub-rasante vrs Espesor de losa

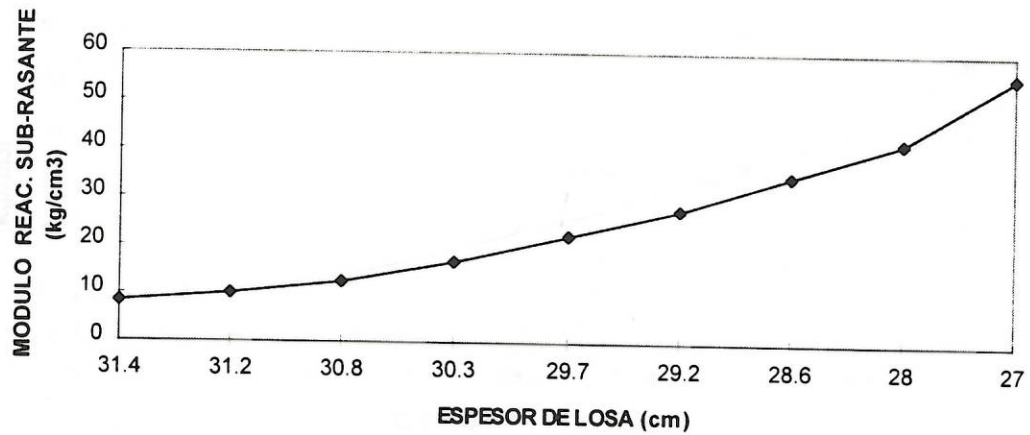
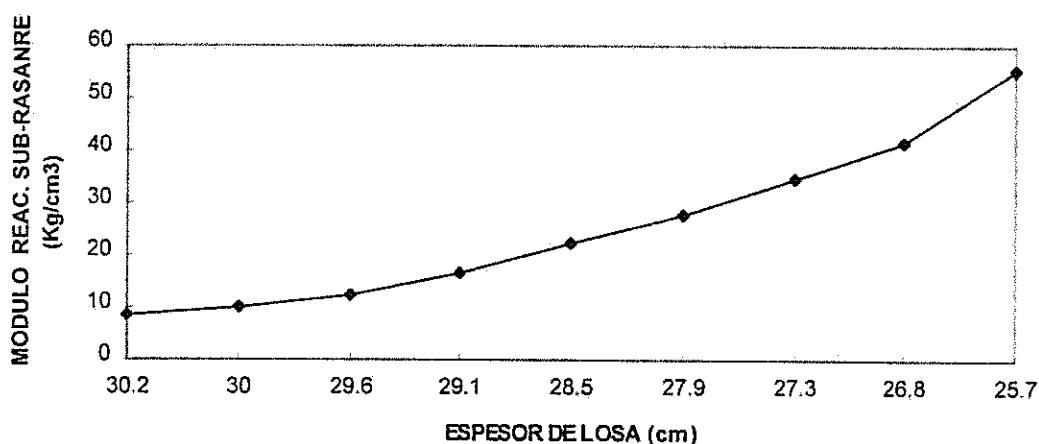


Tabla No. 4: Efecto del módulo de reacción en el espesor de la losa, para un nivel de confianza del 90 % (mismas condiciones de Tabla No. 2).

Espesor de losa (cm)	Módulo de reacción de la sub-rasante (kg/cm ³)
30.2	8.3
30	10
29.6	12.5
29.1	16.6
28.5	22.2
27.9	27.7
27.3	34.7
26.8	41.6
25.7	55.5

* Comparación de deflexiones en la base de apoyo de la losa:

GRAFICO No 3 : Módulo de reacción sub-rasante vrs Espesor de losa



3-3. Cálculo de las deflexiones en la base de apoyo de la losa.

a. A nivel de la base estabilizada (diseño original).

Utilizando un modelo multicapa elástico, por retrocálculo de módulos se tienen los espesores y módulos de las capas (calculados para la deflexión de rebote $D_{rr} = \text{media} + 2s$), presentados en la Tabla No.5.

Tabla No 5: Espesores y módulos de las capas con base en retrocálculo de módulos

Capa	Espesor (cm)	Módulo elástico (kg/cm ²)	Módulo de Poisson
Base estabilizada	23	42000	0.18
Base granular	15	1232	0.40
Sub-base	20	775	0.40
sub-rasante		422	0.45

De aquí se obtiene una deflexión de 0.498 mm, para una presión de inflado de 5.63 kg/cm^2 y una carga de 8.2 Ton.

Variando el módulo de la capa de base estabilizada se obtiene una deformación de 0.526 mm.

b. A nivel de la capa asfáltica existente

De conformidad con el ensayo de deflexiones y para las mismas condicionantes de módulos y espesores antes indicados (excepto la base estabilizada), se obtuvo para este caso una deflexión de 0.965mm.

De lo anterior se tiene que el nivel de deformaciones en la base estabilizada es aproximadamente el 52% de la deformación que presenta la capa asfáltica existente. Este análisis se hizo con el propósito de verificar los valores de módulo de reacción obtenidos en la base de apoyo de la losa.

3-4. Selección de espaciamiento de juntas.

La longitud máxima de losa se calcula de acuerdo con el criterio de esfuerzo máximo, causado por el diferencial térmico superficie-fondo de la sobrecapa de concreto.

De acuerdo con la Ref. 1, el esfuerzo por diferencial térmico máximo en una losa de concreto ocurre en el borde de la losa y está determinado por la relación:

$$\sigma_t = C E \alpha_t \delta t / 2$$

Donde:

σ_t : esfuerzo máximo provocado por diferencial térmico en el borde de la losa (psi).

C : factor de corrección, que depende de la relación L/l, donde "L" es la longitud de losa (in) y "l" es el radio de rigidez relativa (in).

α_t : coeficiente térmico del concreto hidráulico, igual a $5 * 10^{-6}$ in/in/°F.

δt : diferencial térmico entre la superficie y el fondo de la losa de concreto (°F).

El radio de rigidez relativa (l) depende de las propiedades elásticas y geométricas del concreto. Se determina por medio de la relación:

$$l = [E h^3 / (12 (1-\gamma^2) k)]^{0.25}$$

E : módulo de elasticidad del concreto ($4 * 10^6$ psi).

h : espesor de la losa (in).

γ : módulo de Poisson del concreto (0.15).

k : módulo de reacción de la sub-rasante (pci).

El esfuerzo máximo inducido por el diferencial térmico no debe ser superior al valor del módulo de ruptura ajustado por un factor de seguridad, recomendándose un rango de 2 a 3, dado que existen varias fuentes de incertidumbre: el control de condiciones que se da en el laboratorio al momento de determinar el módulo de ruptura, que no es exactamente lo que se da en la práctica, la incertidumbre existente al colocar una sobrecapa de concreto sobre un pavimento flexible, agrietamiento y dispersión del módulo de reacción.

Así, considerando un espesor de losa de 30 cm (12 in) y un diferencial térmico de 30°F, es posible determinar el factor de corrección correspondiente.

$$640/3 = C * 4E6 * 5E-6 * 30/2$$

$$\implies C = 0.71$$

La razón "L/l" correspondiente a un factor de corrección de 0.71 es igual a 5.0. De esta forma, la longitud de losa se encuentra directamente, por medio de la relación:

$$L/l = 5.0$$

Dado que en este caso se consideró un módulo de reacción de la sub-rasante de 10 kg/cm³ (360 pci), "l" es igual a 35.8 in; por lo que la longitud de losa "L" debe ser igual a 4.54 m (178.8 in). De esta forma, se recomienda la utilización de una longitud de losa de 4.75 m, en consideración al factor de seguridad utilizado.

4. Dimensionamiento recomendado

Con base en los análisis realizados, la sobrecapa de concreto que se requiere para obtener un pavimento estructuralmente equivalente al diseño original debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- * Espesor de losa de 30 cm.
- * Módulo de rotura del concreto de 45 kg/cm², falla a 1/3 de la luz.
- * Longitud de losa de 4.75 m.

5. Presupuesto.

Para esta alternativa, en la Tabla No. 6, se presenta el detalle del presupuesto de obra.

Tabla No. 6: Resumen de cantidades y presupuesto de obra.

PROYECTO AUTOPISTA GENERAL CAÑAS

SOBRECAPA DE CONCRETO PARA SEIS CARRILES

RENGLON 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

6- Recomendaciones

Por razones técnicas y económicas, teniendo en cuenta el tipo de falla que presenta actualmente el pavimento, la dispersión del ensayo de deflectometría y su relación con el módulo de reacción en la base de apoyo de la losa, el costo de la sobrecapa de concreto y el efecto de subir el nivel de rasante en 30 cm; se recomienda la alternativa de construir un pavimento nuevo a partir del nivel de la base existente. Para ello se podrían usar varias alternativas, entre ellas la de pavimento rígido usando 23 cm de base estabilizada con cemento Portland y 25 cm de espesor de losa de concreto o una solución con pavimento asfáltico semi-rígido (tal como fueron recomendadas en el informe del tercer carril).

7- Referencias.

- (1) Huang, Yang H. Pavement analysis and design. USA: Prentice Hall, 1993.
- (2) American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO guide for design of pavement structures, volumen No. 2. USA: AASHTO, 1993.
- (3) American Concrete Pavement Association. Guidelines for concrete overlays of existing asphalt pavements. USA: ACPA, 1991.
- (4) Federal Highway Administration. Elsym 5: manual del usuario. USA: FHWA, 1985.
- (5) Federal Highway Administration. Pavement deflection analysis. USA: FHWA, 1994. Curso NHI, No. 13127.
- (6) Neville, A. M. Tecnología del concreto, Tomo II. México, D.F.: Instituto mexicano del cemento y del concreto, 1977.
- (7) Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Informe final del proyecto de rehabilitación de la Autopista General Cañas. San José, U.C.R.: Octubre 1996.