



L A N A M M E



P I T R A

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y
MODELOS ESTRUCTURALES

PROYECTO
TÁRCOLES – JACÓ - LOMA

***EFFECTO DE LA RESISTENCIA
DE LA BASE ESTABILIZADA EN
LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL
DEL PAVIMENTO***



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

LANAMME

1° de setiembre del 2000

**Señor
Ing. Alvaro Ulloa
Jefe de Proyecto
Presente**

Estimado señor:

Por este medio me permito remitir el informe denominado **PROYECTO TÁRCOLES-JACÓ-LOMA: Efecto de la resistencia de la base estabilizada en la capacidad estructural del pavimento.**

Sin otro particular, me suscribo atentamente,

A handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes that form a stylized representation of the name 'Mario Arce'. The signature is positioned above a solid horizontal line.

**Ing. Mario Arce
Coordinador
Programa Mantenimiento Rutinario**

**c.c. Ing. Carlos Villalta
Archivo**

**PROYECTO
TÁRCOLES – JACÓ – LOMA**

**EFFECTO DE LA RESISTENCIA DE LA
BASE ESTABILIZADA EN LA
CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL
PAVIMENTO**

Ing. Mario Arce

AGOSTO 2000

PROYECTO TÁRCOLES - JACÓ - LOMA

EFFECTO DE LA RESISTENCIA DE LA BASE ESTABILIZADA EN LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

CONTENIDO

1. Antecedentes
2. Objetivo y alcance de este estudio
3. Inspección visual
4. Análisis estructural de pavimento
 - 4.1 Método de comparación
 - 4.2 Capacidad estructural del pavimento especificado en el contrato
 - 4.3 Capacidad estructural del pavimento especificado en los paños de estudio
 - 4.4 Resumen de resultados
5. Recomendaciones

EFFECTO DE LA RESISTENCIA DE LA BASE ESTABILIZADA EN LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

1. ANTECEDENTES

En la gira realizada al proyecto, conjuntamente con el Ingeniero de Proyecto, se hizo una inspección visual en las siguientes secciones (denominadas paños):

- Paño N° 5
- Paño N° 17
- Paño N° 18
- Paño N° 19

La Ingeniería de Proyecto tiene perfectamente definida la ubicación de dichas secciones, tal y como se muestra en el croquis adjunto.

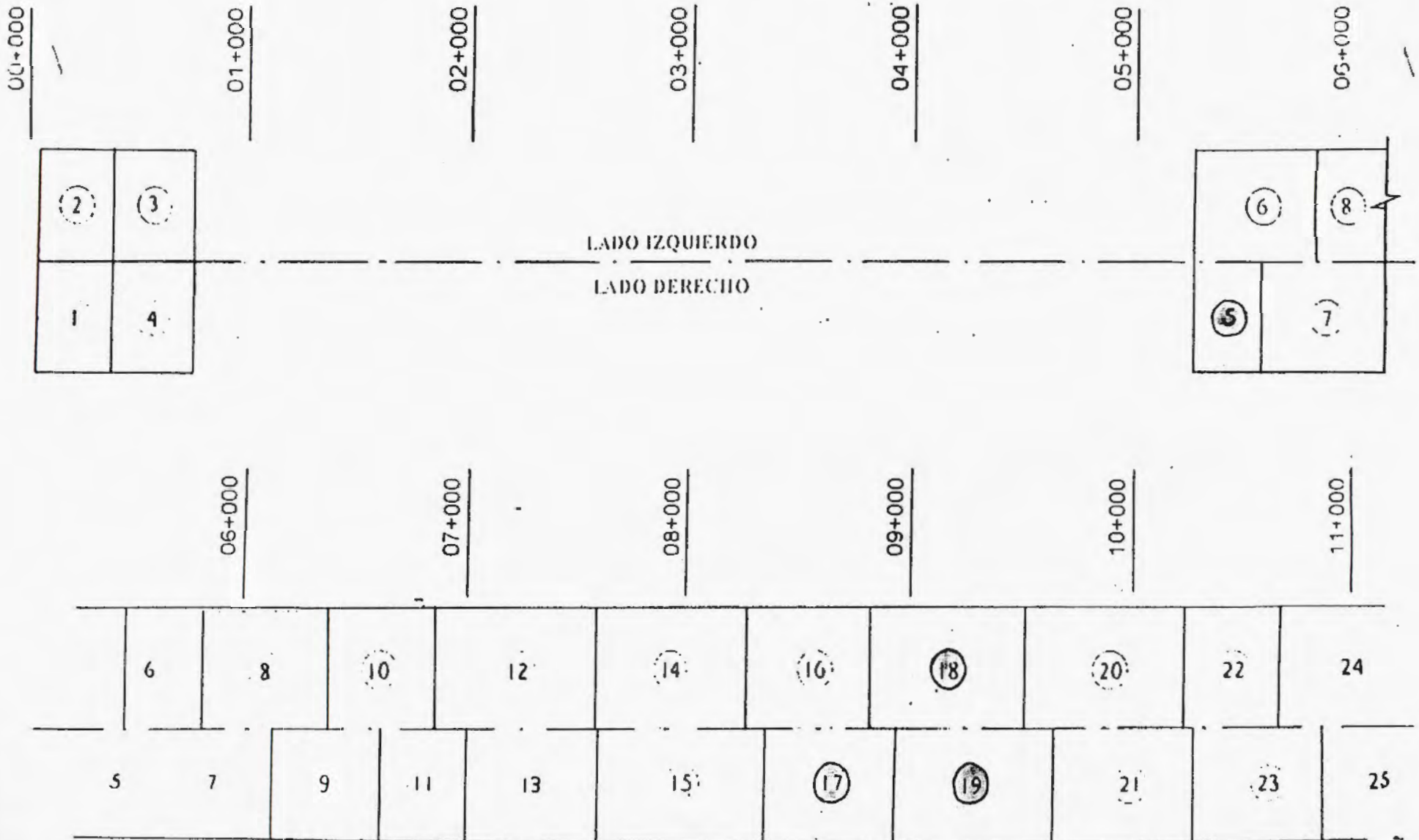
Al momento de la visita a estas secciones no se les había colocado la capa asfáltica, porque habían detectado déficit de resistencia (respecto a lo especificado) en la base estabilizada, o sea que esta base no alcanzó la resistencia especificada en el contrato.

2. OBJETIVO Y ALCANCE DE ESTE ESTUDIO

Este estudio se centra específicamente en los tramos citados y tiene como objetivo analizar el efecto que tiene la pérdida de resistencia de la base estabilizada en la capacidad estructural del pavimento; esto con el propósito de proponer la construcción de un pavimento equivalente, de modo que la disminución en la resistencia de la base se recupere con un incremento en el espesor de la capa asfáltica.

PROYECTO TARCOLES - JACO

BASE ESTABILIZADA PAÑOS DE PRUEBA



3. INSPECCIÓN VISUAL

De la inspección visual de estas secciones (paños) se observó lo siguiente:

- **Paño N° 5:** Deterioro severo, huecos, desprendimientos y grietas. Daño generalizado en todo el tramo. En este paño se debe remover la capa de base y proceder a construirla nuevamente.
- **Paño N° 17:** En la estación 8+835 se observa agrietamiento. Se observan algunas deficiencias en la zona central, resultado de problemas constructivos a lo largo de la junta longitudinal. Da la impresión que no se logró una eficiente compactación en esta zona.
- **Paño N° 18:** Se observa una condición superficial mejor que en el caso anterior, el nivel de agrietamiento es menor, y en algunos puntos se presenta el problema a lo largo de la junta longitudinal antes apuntado. En los puntos donde se presentan agrietamientos se debe sacar la base y proceder a la reparación, previo a la colocación de la capa asfáltica.
- **Paño N° 19:** Presenta un nivel de agrietamiento alto, en distintos puntos a lo largo de este paño. En estos puntos donde se presenta agrietamiento, se debe sacar la base y proceder a la reparación, previo a colocar la capa asfáltica.

4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

4.1 Método de comparación

Para analizar la posibilidad de recuperar el déficit de resistencia de la base estabilizada, aumentando para ello el espesor de la capa asfáltica, y lograr así un pavimento equivalente, se procedió de la siguiente forma:

- Se tabularon los datos de resistencia a compresión, obtenidos de los núcleos extraídos, y se definió una resistencia típica para cada paño.
- Se determinaron los siguientes parámetros de capacidad estructural del pavimento que se especificaba en el contrato (con una BE-35):
 - i) Deflexión total del pavimento
 - ii) Capacidad a fatiga por esfuerzos de tensión en la base estabilizada
 - iii) Capacidad a fatiga, por deformaciones unitarias de compresión en la sub-rasante (roderas)
- 1) Se hizo un análisis de sensibilidad considerando los siguientes aspectos:
 - Variaciones de módulo resiliente en la sub-rasante
 - Dispersión de los parámetros de resistencia en la sub-base mejorada
 - Variación del módulo resiliente de la capa asfáltica por cambios de temperatura

Con base en estos parámetros estructurales se analizaron varios incrementos en el espesor de la capa asfáltica, hasta lograr que en el pavimento propuesto como alternativa, tuviese las mismas condiciones estructurales que aquel que se especificaba en el diseño.

4.2 Capacidad estructural del pavimento especificado en el contrato

Concretamente, para el pavimento especificado en el contrato se consideraron las siguientes condiciones estructurales, mostradas en la Tabla 1:

Tabla 1: Capacidad estructural para cada capa del pavimento

CAPA	MODULO (kg / cm ²)	MODULO (psi)
Capa asfáltica	14085 / 24650	200000 / 350000
Base estabilizada	47200	670000
Sub-base	3520 / 7040	50000 / 100000
Sub-rasante	425 / 565	6000 / 8000

En la Tabla 2 se resumen los resultados de este análisis

Tabla 2: Resumen de los parámetros estructurales del pavimento especificado en el contrato.

**PROYECTO
TARCOLES-JACO-LOMA**

PATRON DE COMPARACION

$\sigma_r = 105$ psi BE = 670000 psi CA = 200000 psi								$\sigma_r = 105$ psi BE = 670000 psi CA = 3500000 psi					
CASO	Espesor (x1) (pulg)	$\delta_{0z=0}$ (pulg)	σ_a	ϵ_v	$\delta_{0z=0}$ (mm*10 ⁻²)	σ_a / σ_r	ND	$\delta_{0z=0}$ (pulg)	σ_a	ϵ_v	$\delta_{0z=0}$ (mm*10 ⁻²)	σ_a / σ_r	ND
a	4.4	2.11E-02	44.4	1.92E-04	53.6	0.42	5.95E+07	1.99E-02	42.3	1.75E-04	50.5	0.40	9.02E+07
	4.8	2.10E-02	43.0	1.86E-04	53.3	0.41	6.86E+07	1.97E-02	40.9	1.69E-04	50.0	0.39	1.05E+08
	5.2	2.09E-02	41.6	1.81E-04	53.1	0.40	7.75E+07	1.96E-02	39.5	1.64E-04	49.8	0.38	1.21E+08
	5.6	2.08E-02	40.3	1.76E-04	52.8	0.38	8.79E+07	1.94E-02	38.2	1.59E-04	49.3	0.36	1.39E+08
b	4.4	1.71E-02	42.8	1.73E-04	43.4	0.41	9.49E+07	1.60E-02	40.7	1.58E-04	40.6	0.39	1.42E+08
	4.8	1.70E-02	41.4	1.68E-04	43.2	0.39	1.08E+08	1.59E-02	39.3	1.52E-04	40.4	0.37	1.69E+08
	5.2	1.70E-02	40.0	1.63E-04	43.2	0.38	1.24E+08	1.58E-02	38.0	1.47E-04	40.1	0.36	1.97E+08
	5.6	1.69E-02	38.8	1.58E-04	42.9	0.37	1.42E+08	1.56E-02	36.7	1.42E-04	39.6	0.35	2.30E+08
c	4.4	2.22E-02	59.6	2.24E-04	56.4	0.57	2.99E+07	2.09E-02	55.6	2.01E-04	53.1	0.53	4.85E+07
	4.8	2.21E-02	57.5	2.16E-04	56.1	0.55	3.51E+07	2.07E-02	53.5	1.93E-04	52.6	0.51	5.82E+07
	5.2	2.19E-02	55.5	2.09E-04	55.6	0.53	4.07E+07	2.05E-02	51.4	1.86E-04	52.1	0.49	6.86E+07
	5.6	2.18E-02	53.5	2.02E-04	55.4	0.51	4.74E+07	2.03E-02	49.5	1.80E-04	51.6	0.47	7.95E+07
d	4.4	1.81E-02	57.3	1.99E-04	46.0	0.55	5.07E+07	1.69E-02	53.4	1.79E-04	42.9	0.51	8.15E+07
	4.8	1.80E-02	55.2	1.92E-04	45.7	0.53	5.95E+07	1.67E-02	51.3	1.72E-04	42.4	0.49	9.74E+07
	5.2	1.79E-02	53.2	1.86E-04	45.5	0.51	6.86E+07	1.65E-02	49.3	1.65E-04	41.9	0.47	1.17E+08
	5.6	1.77E-02	51.3	1.80E-04	45.0	0.49	7.95E+07	1.64E-02	47.4	1.59E-04	41.7	0.45	1.39E+08

Combinaciones de módulos (psi) y espesores (pulg):

CAPA	Espesor (pulg)	CASO a	CASO b	CASO c	CASO d
CA	x1	A/B	A/B	A/B	A/B
BE	8	670000	670000	670000	670000
SB	10	100000	100000	50000	50000
SR	0	6000	8000	6000	8000

A= 200000 psi

B= 300000 psi

σ_r = esfuerzo resistente a tensión en la base estabilizada

BE = base estabilizada

CA = capa asfáltica

δ_0 = desplazamiento total del pavimento (deflexión total)

σ_a = esfuerzo de tensión aplicado por un eje simple de 18000 lb en BE

ϵ_v = deformación unitaria en la sub-rasante

σ_a / σ_r = relación de esfuerzos de tensión, esfuerzo de tensión / esfuerzo de rotura

ND = capacidad a fatiga por deformación permanente en la sub-rasante

4.3 Capacidad estructural del pavimento especificado en los paños de estudio

En la Tabla 3 se resumen los valores de resistencia a compresión de los núcleos extraídos en cada paño.

Tabla 3. Resistencia a compresión de núcleos extraídos

PAÑO	Resistencia a compresión (kg/cm ²)			Resistencia típica a tensión
	LANAMME	CIVCO	IMNSA	
5	35 (*), 15	-	no se recuperó	-
17	28, 36	26	no se recuperó	3.75
18	36, 41	27	-	4.65
19	-	20	19, 24	3.75

(*) Núcleo extraído en un punto donde la base no presentaba ningún tipo de deterioro.

Con base en estos datos de resistencia mecánica, se hace el análisis estructural que se detalla en el apartado siguiente.

4.4 Resumen de resultados

Para obtener el pavimento estructuralmente equivalente se verificó la capacidad a fatiga de la base estabilizada y de la sub-rasante (deformaciones unitarias de compresión) y adicionalmente se comparó el desplazamiento (deflexión) total del pavimento. Para este análisis se utilizó un modelo multicapa elástico y se realizó el análisis de sensibilidad antes mencionado.

Los resultados se resumen en la Tabla 4.

Adicionalmente de la Tablas 5 a la Tabla 8 se presenta un resumen donde se comparan todos los parámetros estructurales del pavimento especificado, considerando todas las variaciones de módulo de las capas, para los paños 17, 18 y 19, considerando además incrementos de espesor de la sobrecapa asfáltica de 6.5 cm y 8.5 cm. Esto con el propósito de buscar el espesor de sobre-capa asfáltica que cumpla con el requisito de ser estructuralmente equivalente, bajo las diferentes condiciones analizadas.

Tabla 4: Resumen de los parámetros estructurales del pavimento, en las secciones 17, 18 y 19.

PROYECTO

TARCOLES-JACO-LOMA

		$\sigma_r = 66$ psi BE = 570000 psi CA = 200000 psi PAÑO 18						$\sigma_r = 53$ psi BE = 530000 psi CA = 200000 psi PAÑO 17 y 19					
CASO	Espesor (x1) (pulg)	$\delta_{0z=0}$ (pulg)	σ_a	ϵ_v	$\delta_{0z=0}$ (mm*10 ⁻²)	σ_a/σ_r	ND	$\delta_{0z=0}$ (pulg)	σ_a	ϵ_v	$\delta_{0z=0}$ (mm*10 ⁻²)	σ_a/σ_r	ND
a	4.8	2.12E-02	38.0	1.92E-04	53.8	0.58	5.95E+07	2.13E-02	35.8	1.95E-04	54.1	0.68	5.55E+07
	5.2	2.11E-02	36.8	1.86E-04	53.6	0.56	6.86E+07	2.12E-02	34.7	1.89E-04	53.8	0.65	6.39E+07
	5.6	2.10E-02	35.6	1.81E-04	53.3	0.54	7.75E+07	2.11E-02	33.6	1.83E-04	53.6	0.63	7.38E+07
	6.4	2.08E-02	33.5	1.71E-04	52.8	0.51	1.00E+08	2.09E-02	31.6	1.73E-04	53.1	0.60	9.49E+07
	7.0	2.06E-02	32.0	1.64E-04	52.3	0.48	1.21E+08	2.07E-02	30.3	1.66E-04	52.6	0.57	1.14E+08
	7.8	2.04E-02	30.2	1.56E-04	51.8	0.46	1.51E+08	2.05E-02	28.5	1.57E-04	52.1	0.54	1.47E+08
b	4.8	1.72E-02	36.6	1.73E-04	43.7	0.55	9.49E+07	1.73E-02	34.5	1.76E-04	43.9	0.65	8.79E+07
	5.2	1.72E-02	35.4	1.68E-04	43.7	0.54	1.08E+08	1.73E-02	33.4	1.70E-04	43.9	0.63	1.03E+08
	5.6	1.71E-02	34.3	1.63E-04	43.4	0.52	1.24E+08	1.72E-02	32.4	1.65E-04	43.7	0.61	1.17E+08
	6.4	1.69E-02	32.2	1.53E-04	42.9	0.49	1.65E+08	1.70E-02	30.4	1.55E-04	43.2	0.57	1.55E+08
	7.0	1.68E-02	30.7	1.47E-04	42.7	0.47	1.97E+08	1.69E-02	29.0	1.49E-04	42.9	0.55	1.85E+08
	7.8	1.67E-02	28.9	1.39E-04	42.4	0.44	2.53E+08	1.67E-02	27.3	1.41E-04	42.4	0.52	2.37E+08
c	4.8	2.24E-02	52.2	2.25E-04	56.9	0.79	2.93E+07	2.25E-02	49.8	2.29E-04	57.2	0.94	2.70E+07
	5.2	2.22E-02	50.3	2.18E-04	56.4	0.76	3.37E+07	2.23E-02	48.1	2.22E-04	56.6	0.91	3.11E+07
	5.6	2.21E-02	48.5	2.10E-04	56.1	0.73	3.99E+07	2.22E-02	46.4	2.14E-04	56.4	0.88	3.66E+07
	6.4	2.18E-02	45.2	1.97E-04	55.4	0.68	5.31E+07	2.19E-02	43.2	2.00E-04	55.6	0.82	4.96E+07
	7.0	2.15E-02	43.0	1.88E-04	54.6	0.65	6.54E+07	2.16E-02	41.0	1.91E-04	54.9	0.77	6.09E+07
	7.8	2.13E-02	40.2	1.77E-04	54.1	0.61	8.57E+07	2.13E-02	38.4	1.80E-04	54.1	0.72	7.95E+07
d	4.8	1.82E-02	50.1	2.01E-04	46.2	0.76	4.85E+07	1.83E-02	47.9	2.04E-04	46.5	0.90	4.54E+07
	5.2	1.81E-02	48.3	1.94E-04	46.0	0.73	5.68E+07	1.82E-02	46.1	1.97E-04	46.2	0.87	5.31E+07
	5.6	1.80E-02	46.5	1.87E-04	45.7	0.70	6.70E+07	1.81E-02	44.5	1.91E-04	46.0	0.84	6.09E+07
	6.4	1.77E-02	43.3	1.75E-04	45.0	0.66	9.02E+07	1.78E-02	41.4	1.78E-04	45.2	0.78	8.36E+07
	7.0	1.76E-02	41.1	1.67E-04	44.7	0.62	1.11E+08	1.77E-02	39.3	1.69E-04	45.0	0.74	1.05E+08
	7.8	1.74E-02	38.4	1.57E-04	44.2	0.58	1.47E+08	1.74E-02	36.7	1.60E-04	44.2	0.69	1.35E+08

Combinaciones de módulos (psi) y espesores (pulg):

CAPA	Espesor (pulg)	CASO a	CASO b	CASO c	CASO d
CA	x1	200000	200000	200000	200000
BE	8	A/B	A/B	A/B	A/B
SB	10	100000	100000	50000	50000
SR	0	6000	8000	6000	8000

A= 570000 psi

B= 530000 psi

σ_r = esfuerzo resistente a tensión en la base estabilizada

BE = base estabilizada

CA = capa asfáltica

δ_0 = desplazamiento total del pavimento (deflexión total)

σ_a = esfuerzo de tensión aplicado por un eje simple de 18000 lb en BE

ϵ_v = deformación unitaria en la sub-rasante

σ_a/σ_r = relación de esfuerzos de tensión, esfuerzo de tensión / esfuerzo de rotura

ND = capacidad a fatiga por deformación permanente en la sub-rasante

Tabla 4: (Continuación)

PROYECTO

TARCOLES-JACO-LOMA

$\sigma_r = 66$ psi BE = 570000 psi CA = 350000 psi PAÑO 18								$\sigma_r = 53$ psi BE = 530000 psi CA = 350000 psi PAÑO 17 y 19					
CASO	Espesor (x1) (pulg)	$\delta_{0z=0}$ (pulg)	σ_a	ϵ_v	$\delta_{0z=0}$ (mm*10 ⁻²)	σ_a/σ_r	ND	$\delta_{0z=0}$ (pulg)	σ_a	ϵ_v	$\delta_{0z=0}$ (mm*10 ⁻²)	σ_a/σ_r	ND
a	4.8	1.99E-02	36.3	1.75E-04	50.5	0.55	9.02E+07	2.00E-02	34.3	1.77E-04	50.8	0.65	8.57E+07
	5.2	1.97E-02	35.1	1.69E-04	50.0	0.53	1.05E+08	1.98E-02	33.2	1.71E-04	50.3	0.63	1.00E+08
	5.6	1.96E-02	34.0	1.63E-04	49.8	0.52	1.24E+08	1.96E-02	32.1	1.66E-04	49.8	0.61	1.14E+08
	6.4	1.92E-02	31.9	1.53E-04	48.8	0.48	1.65E+08	1.93E-02	30.2	1.55E-04	49.0	0.57	1.55E+08
	7.0	1.90E-02	30.4	1.46E-04	48.3	0.46	2.03E+08	1.90E-02	28.8	1.48E-04	48.3	0.54	1.91E+08
	7.8	1.86E-02	28.6	1.39E-04	47.2	0.43	2.53E+08	1.87E-02	27.1	1.40E-04	47.5	0.51	2.45E+08
b	4.8	1.61E-02	34.9	1.57E-04	40.9	0.53	1.47E+08	1.62E-02	33.0	1.59E-04	41.1	0.62	1.39E+08
	5.2	1.59E-02	33.7	1.52E-04	40.4	0.51	1.69E+08	1.60E-02	31.9	1.54E-04	40.6	0.60	1.60E+08
	5.6	1.58E-02	32.6	1.47E-04	40.1	0.49	1.97E+08	1.59E-02	30.8	1.49E-04	40.4	0.58	1.85E+08
	6.4	1.55E-02	30.5	1.37E-04	39.4	0.46	2.70E+08	1.56E-02	28.9	1.39E-04	39.6	0.55	2.53E+08
	7.0	1.53E-02	29.1	1.31E-04	38.9	0.44	3.30E+08	1.54E-02	27.5	1.33E-04	39.1	0.52	3.08E+08
	7.8	1.51E-02	27.3	1.24E-04	38.4	0.41	4.22E+08	1.52E-02	25.8	1.25E-04	38.6	0.49	4.07E+08
c	4.8	2.09E-02	48.6	2.02E-04	53.1	0.74	4.74E+07	2.11E-02	46.5	2.05E-04	53.6	0.88	4.44E+07
	5.2	2.07E-02	46.8	1.94E-04	52.6	0.71	5.68E+07	2.08E-02	44.8	1.97E-04	52.8	0.85	5.31E+07
	5.6	2.05E-02	45.0	1.87E-04	52.1	0.68	6.70E+07	2.06E-02	43.1	1.90E-04	52.3	0.81	6.24E+07
	6.4	2.01E-02	41.8	1.74E-04	51.1	0.63	9.25E+07	2.02E-02	40.0	1.77E-04	51.3	0.75	8.57E+07
	7.0	1.98E-02	39.6	1.65E-04	50.3	0.60	1.17E+08	1.99E-02	37.9	1.68E-04	50.5	0.72	1.08E+08
	7.8	1.94E-02	37.0	1.55E-04	49.3	0.56	1.55E+08	1.95E-02	35.4	1.58E-04	49.5	0.67	1.42E+08
d	4.8	1.69E-02	46.6	1.79E-04	42.9	0.71	8.15E+07	1.70E-02	44.6	1.83E-04	43.2	0.84	7.38E+07
	5.2	1.67E-02	44.8	1.72E-04	42.4	0.68	9.74E+07	1.68E-02	42.9	1.76E-04	42.7	0.81	8.79E+07
	5.6	1.66E-02	43.1	1.66E-04	42.2	0.65	1.14E+08	1.67E-02	41.3	1.69E-04	42.4	0.78	1.05E+08
	6.4	1.62E-02	40.0	1.54E-04	41.1	0.61	1.60E+08	1.63E-02	38.3	1.57E-04	41.4	0.72	1.47E+08
	7.0	1.60E-02	37.8	1.46E-04	40.6	0.57	2.03E+08	1.61E-02	36.2	1.49E-04	40.9	0.68	1.85E+08
	7.8	1.57E-02	35.2	1.37E-04	39.9	0.53	2.70E+08	1.58E-02	33.7	1.40E-04	40.1	0.64	2.45E+08

Combinaciones de módulos (psi) y espesores (pulg):

CAPA	Espesor (pulg)	CASO a	CASO b	CASO c	CASO d
CA	x1	350000	350000	350000	350000
BE	8	A/B	A/B	A/B	A/B
SB	10	100000	100000	50000	50000
SR	0	6000	8000	6000	8000

A= 570000 psi

B= 530000 psi

σ_r = esfuerzo resistente a tensión en la base estabilizada

BE = base estabilizada

CA = capa asfáltica

δ_0 = desplazamiento total del pavimento (deflexión total)

σ_a = esfuerzo de tensión aplicado por un eje simple de 18000 lb en BE

ϵ_v = deformación unitaria en la sub-rasante

σ_a/σ_r = relación de esfuerzos de tensión, esfuerzo de tensión / esfuerzo de rotura

ND = capacidad a fatiga por deformación permanente en la sub-rasante

Tabla 5. Resumen comparativo de los parámetros estructurales PAÑO 18.

Parámetro	Pavimento	PAÑO 18	Pavimento	PAÑO 18
	Especificado CA = 350000 psi	BE=570000 psi CA=350000 psi	Especificado CA = 200000 psi	BE=570000 psi CA=200000 psi
CASO a (incremento de espesor = 6.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	1.75	1.46	1.92	1.64
δ_0 (mm*10 ⁻²)	50.5	48.3	53.6	52.3
σ_a / σ_r	0.40	0.46	0.42	0.48
ND*10 ⁷	9.02	20.3	5.95	12.1
CASO b (incremento de espesor = 6.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	1.58	1.31	1.73	1.47
δ_0 (mm*10 ⁻²)	40.6	38.9	43.4	42.7
σ_a / σ_r	0.39	0.44	0.41	0.47
ND*10 ⁷	14.2	33.0	9.49	19.7
CASO c (incremento de espesor = 6.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	2.01	1.65	2.24	1.88
δ_0 (mm*10 ⁻²)	53.1	50.3	56.4	54.6
σ_a / σ_r	0.53	0.60	0.57	0.65
ND*10 ⁷	4.85	11.7	2.99	6.54
CASO d (incremento de espesor = 6.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	1.79	1.46	1.99	1.67
δ_0 (mm*10 ⁻²)	42.9	40.6	46.0	44.7
σ_a / σ_r	0.51	0.57	0.55	0.62
ND*10 ⁷	8.15	20.3	5.07	11.1

Tabla 6. Resumen comparativo de los parámetros estructurales PAÑOS 17 y 19.

Parámetro	Pavimento	PAÑO 18	Pavimento	PAÑO 18
	Especificado CA = 350000 psi	BE=670000 psi CA=350000 psi	Especificado CA = 200000 psi	BE=670000 psi CA=200000 psi
CASO a (incremento de espesor = 6.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	1.75	1.48	1.92	1.66
δ_0 (mm $\cdot 10^{-2}$)	50.5	48.3	53.6	52.6
σ_a / σ_r	0.40	0.54	0.42	0.57
ND $\cdot 10^7$	9.02	19.1	5.95	11.4
CASO b (incremento de espesor = 6.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	1.58	1.33	1.73	1.49
δ_0 (mm $\cdot 10^{-2}$)	40.6	39.1	43.4	42.9
σ_a / σ_r	0.39	0.52	0.41	0.55
ND $\cdot 10^7$	14.2	30.8	9.49	18.5
CASO c (incremento de espesor = 6.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	2.01	1.68	2.24	1.91
δ_0 (mm $\cdot 10^{-2}$)	53.1	50.5	56.4	54.9
σ_a / σ_r	0.53	0.72	0.57	0.77
ND $\cdot 10^7$	4.85	10.8	2.99	6.09
CASO d (incremento de espesor = 6.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	1.79	1.49	1.99	1.69
δ_0 (mm $\cdot 10^{-2}$)	42.9	40.9	46.0	45.0
σ_a / σ_r	0.51	0.68	0.55	0.74
ND $\cdot 10^7$	8.15	18.5	5.07	10.5

Tabla 7. Resumen comparativo de los parámetros estructurales PAÑO 18.

Parámetro	Pavimento	PAÑO 18	Pavimento	PAÑO 18
	Especificado CA = 350000 psi	BE=570000 psi CA=350000 psi	Especificado CA = 200000 psi	BE=570000 psi CA=200000 psi
CASO a (incremento de espesor = 8.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	1.75	1.39	1.92	1.56
δ_0 (mm $\cdot 10^{-2}$)	50.5	47.2	53.6	51.8
σ_a / σ_r	0.40	0.43	0.42	0.46
ND $\cdot 10^7$	9.02	25.3	5.95	15.1
CASO b (incremento de espesor = 8.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	1.58	1.24	1.73	1.39
δ_0 (mm $\cdot 10^{-2}$)	40.6	38.4	43.4	42.4
σ_a / σ_r	0.39	0.41	0.41	0.44
ND $\cdot 10^7$	14.2	42.2	9.49	25.3
CASO c (incremento de espesor = 8.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	2.01	1.55	2.24	1.77
δ_0 (mm $\cdot 10^{-2}$)	53.1	49.3	56.4	54.1
σ_a / σ_r	0.53	0.56	0.57	0.61
ND $\cdot 10^7$	4.85	15.5	2.99	8.57
CASO d (incremento de espesor = 8.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	1.79	1.37	1.99	1.57
δ_0 (mm $\cdot 10^{-2}$)	42.9	39.9	46.0	44.2
σ_a / σ_r	0.51	0.53	0.55	0.58
ND $\cdot 10^7$	8.15	27.0	5.07	14.7

Tabla 8. Resumen comparativo de los parámetros estructurales PAÑOS 17 y 19.

Parámetro	Pavimento	PANOS 17 y 19	Pavimento	PANOS 17 y 19
	Especificado CA = 350000 psi	BE=530000 psi CA=350000 psi	Especificado CA = 200000 psi	BE=530000 psi CA=200000 psi
CASO a (incremento de espesor = 8.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	1.75	1.40	1.92	1.57
δ_0 (mm*10 ⁻²)	50.5	47.5	53.6	52.1
σ_a / σ_r	0.40	0.51	0.42	0.54
ND*10 ⁷	9.02	24.5	5.95	14.7
CASO b (incremento de espesor = 8.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	1.58	1.25	1.73	1.41
δ_0 (mm*10 ⁻²)	40.6	38.6	43.4	42.4
σ_a / σ_r	0.39	0.49	0.41	0.52
ND*10 ⁷	14.2	40.7	9.49	23.7
CASO c (incremento de espesor = 8.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	2.01	1.58	2.24	1.80
δ_0 (mm*10 ⁻²)	53.1	49.5	56.4	54.1
σ_a / σ_r	0.53	0.67	0.57	0.72
ND*10 ⁷	4.85	14.2	2.99	7.95
CASO d (incremento de espesor = 8.5 cm)				
$\epsilon_v \cdot 10^{-4}$	1.79	1.40	1.99	1.60
δ_0 (mm*10 ⁻²)	42.9	40.1	46.0	44.2
σ_a / σ_r	0.51	0.64	0.55	0.69
ND*10 ⁷	8.15	24.5	5.07	13.5

5. RECOMENDACIONES

Con base en el análisis realizado se recomienda lo siguiente:

- 1) Remover totalmente el paño 5 y construir de nuevo la base estabilizada especificada en el contrato.
- 2) En los paños 17, 18 y 19, reparar las zonas donde se presenta agrietamiento, previo a colocar la capa asfáltica. Estas zonas agrietadas ya fallaron estructuralmente por esfuerzos de flexo-tracción y debe removerse la base estabilizada.
- 3) En el paño 18 colocar un espesor adicional de capa asfáltica de 7.0 cm.
- 4) En los paños 17 y 18 colocar un espesor adicional de capa asfáltica de 9.0 cm.
- 5) Alternativamente en estos paños 17, 18 y 19 el Contratista tiene la opción de remover totalmente la base estabilizada y proceder a construir dicha capa conforme a las especificaciones del contrato.

NOTA: No se puede considerar la primera capa asfáltica delgada que se colocó como parte del espesor adicional de mezcla asfáltica.

