



**MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y  
TRANSPORTES**



**PROYECTO : SAN RAMON – BARRANCA**

**ANALISIS ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

**ING. MARIO ARCE**

**JUNIO 1997**



**MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y  
TRANSPORTES**

**PROYECTO : SAN RAMON – BARRANCA**

**ANALISIS ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

**ING. MARIO ARCE**

**JUNIO 1997**

**PROYECTO SAN RAMON - BARRANCA**

**ANALISIS ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

**JUNIO 1997**

**Ing. Mario Arce**

**PROYECTO: SAN RAMON - BARRANCA**  
**ANALISIS ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

**Indice de Contenido**

	Página
1- Objetivo	1
2- Alcance	1
3- Metodología	1
4- Diagnóstico del pavimento	2
4.1 Deflectometría	2
4.2 Sección típica	2
4.3 Solicitaciones del tránsito	2
4.4 Medición de temperaturas del pavimento	6
5- Análisis estructural	7
5.1 Retrocálculo de módulos	7
5.2 Estimación del número estructural	7
5.3 Análisis de fatiga	12
5.4 Síntesis de resultados	22
6- Alternativas propuestas	22
7- Conclusiones y recomendaciones	26

# PROYECTO SAN RAMON - BARRANCA

## ANALISIS ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

### 1. OBJETIVO

Realizar un análisis estructural de diferentes opciones de rehabilitación del pavimento, a fin de optimizar el diseño estructural para aquellos tramos de menor severidad de falla, diseñando una estructura con igual o mayor capacidad a fatiga, comparativamente con la propuesta original de rehabilitación, y que además tenga un número estructural AASHTO (SN), igual o mayor que el pavimento propuesto.

### 2. ALCANCES

Para efectuar el presente análisis se parte de los estudios previamente efectuados a esta carretera (deflectometría y tránsito) para el diseño de su reconstrucción. A partir de ese diseño y teniendo en cuenta aquellos tramos del proyecto que ya han sido rehabilitados, se plantean para las restantes secciones de la vía otras opciones de rehabilitación, de modo que se tenga una estructura equivalente de igual o mayor capacidad a fatiga.

### 3. METODOLOGIA

La metodología de análisis parte del hecho de que los tramos de la vía más severamente dañados ya fueron rehabilitados siguiendo los lineamientos del diseño original. Bajo esta consideración se plantean otras opciones de rehabilitación para los restantes tramos, partiendo de la restricción de no triturar el pavimento existente, o sea readecuando su capacidad estructural a partir del nivel actual de rasante.

Bajo dicha premisa, se asignan valores diferentes a los parámetros de capacidad estructural de las capas constitutivas del pavimento, teniendo en consideración que los tramos reconstruidos corresponde a aquellas secciones de la vía más severamente dañadas.

A partir de la apreciación de deterioro superficial y del análisis deflectométrico se asignan los coeficientes estructurales "ai" a las capas existentes (tramos reconstruidos y tramos no reconstruidos), y además de determina por análisis multicapa elástico, el valor probable del parámetro "espesor - módulo" de dichas capas, de forma que se ajustan los parámetros estructurales del pavimento, combinando la valoración visual del deterioro (según AASHTO) y el análisis deflectométrico.

Posteriormente se plantean diferentes opciones de rehabilitación y se hace un análisis comparativo, en primera instancia aplicando el modelo AASHTO y posteriormente se hace un análisis de fatiga considerando las posibles variaciones en los módulos de los materiales, consecuencia de las variaciones de temperatura a lo largo del año.

Por medio de este procedimiento se procura optimizar el diseño del pavimento y determinar comparativamente la mejor opción desde el punto de vista de capacidad a fatiga.

## 4. DIAGNOSTICO DEL PAVIMENTO

### 4.1 DEFLECTOMETRIA

En junio de 1995 el MOPT realizó un estudio de deflexiones en el pavimento. En la tabla 4.1 y el gráfico 4.1 se transcriben los resultados obtenidos en dicho ensayo.

### 4.2 SECCION TIPICA

Por medio de sondeos realizados por el MOPT, se definió como sección típica del pavimento la siguiente:

- Capa Asfáltica : espesor entre 17 y 20 cm.
- Capa de Base : grava redondeada, con un espesor de 10cm, con tamaño máximo de 2.5cm.
- Sub-base : capa de grava redondeada con un espesor de 60cm. No presenta plasticidad.

### 4.3 SOLICITACIONES DEL TRANSITO

Con base en estudios realizados por el MOPT en tres estaciones fijas, se obtuvo en resumen la siguiente información:

TPD <sub>(1995)</sub> = 7195 (promedio de 3 estaciones fijas)

TIPO VEHICULO	ESTACION 1	ESTACION 2	ESTACION 3	EJES EQUIVAL. (promedio)
LIVIANOS	1403	2167	2276	409
C-2	531	660	880	880
C-3	101	171	129	202
T3-S2	752	1083	809	2592
BUS	522	562	686	590
C-4	1	0	0	1
Total de ejes equivalentes :				4674

De acuerdo con esta información se tiene el siguiente cuadro de ejes equivalentes según el período de diseño, asumiendo un 50% de la carga en el carril de diseño.

EJES EQUIVALENTES *10 <sup>6</sup>		
Taza de crecimiento	Período de diseño (años)	
	10	12
5%	12.19	13.9
9%	13.53	17.9

TABLA 4,1

## ESTUDIO DE DEFLEXIONES

TRAMO : San Ramon - Barranca

PESO DEL EJE : 8200 Kg

PRESION DE LLANTAS: 80 Lbs

FECHA: 13-6-95

ESTACION INICIAL: 79+000

ESPESOR DE CAPA ASFALTICA : 17 a 20 cm

PUNTO N <sup>o</sup>	DEFLEXION mm*10 <sup>-1</sup>		PUNTO N <sup>o</sup>	DEFLEXION mm*10 <sup>-1</sup>		PUNTO N <sup>o</sup>	DEFLEXION mm*10 <sup>-1</sup>
1	0,40		33	0,68		65	0,64
2	0,56		34	0,64		66	0,48
3	0,48		35	0,44		67	0,56
4	0,68		36	0,52		68	0,32
5	0,72		37	0,52		69	0,64
6	0,80		38	0,76		70	0,68
7	0,60		39	0,56		71	0,52
8	0,72		40	0,52		72	0,48
9	0,68		41	0,24		73	0,4
10	0,84		42	0,68		74	0,48
11	0,72		43	0,64		75	0,4
12	0,56		44	0,8		76	0,48
13	0,48		45	0,68		77	0,56
14	0,44		46	0,6		78	0,4
15	0,64		47	0,8		79	0,44
16	0,72		48	0,6		80	0,48
17	0,80		49	0,48		81	0,44
18	0,60		50	0,52		82	0,48
19	0,56		51	0,52		83	0,52
20	0,64		52	0,48		84	0,48
21	0,56		53	0,4		85	0,36
22	0,48		54	0,6		86	0,52
23	0,44		55	0,52		87	0,36
24	0,36		56	0,36		88	0,4
25	0,32		57	0,32		89	0,24
26	0,48		58	0,36		90	0,56
27	0,32		59	0,4		91	0,72
28	0,44		60	0,36		92	0,56
29	0,64		61	0,6		93	0,68
30	0,56		62	0,68		94	0,44
31	0,60		63	0,44		95	0,52
32	0,44		64	0,48		96	0,48

TABLA 4,1 (Continuación)

## ESTUDIO DE DEFLEXIONES

TRAMO : San Ramon - Barranca

PESO DEL EJE : 8200 Kg

PRESION DE LLANTAS: 80 Lbs

FECHA: 13-6-95

ESTACION INICIAL: 79+000

ESPESOR DE CAPA ASFALTICA : 17 a 20 cm

PUNTO N <sup>o</sup>	DEFLEXION mm*10 <sup>-1</sup>		PUNTO N <sup>o</sup>	DEFLEXION mm*10 <sup>-1</sup>		PUNTO N <sup>o</sup>	DEFLEXION mm*10 <sup>-1</sup>
97	0,44		129	0,32		161	0,36
98	0,32		130	0,52		162	0,24
99	0,48		131	0,4		163	0,28
100	0,6		132	0,44		164	0,32
101	0,4		133	0,4		165	0,32
102	0,36		134	0,24		166	0,4
103	0,44		135	0,4		167	0,32
104	0,48		136	0,36		168	0,4
105	0,44		137	0,32		169	0,28
106	0,36		138	0,28		170	0,32
107	0,4		139	0,24		171	0,36
108	0,48		140	0,36		172	0,4
109	0,52		141	0,28		173	0,44
110	0,44		142	0,32		174	0,32
111	0,56		143	0,24		175	0,4
112	0,52		144	0,28		176	0,32
113	0,44		145	0,24		177	0,44
114	0,36		146	0,28		178	0,52
115	0,56		147	0,28		179	0,36
116	0,72		148	0,2		180	0,4
117	0,32		149	0,36		181	0,4
118	0,48		150	0,32			
119	0,4		151	0,36			
120	0,44		152	0,2			
121	0,4		153	0,64			
122	0,36		154	1,24			
123	0,44		155	0,28			
124	0,32		156	0,44			
125	0,44		157	0,28			
126	0,36		158	0,2			
127	0,56		159	0,4			
128	0,24		160	0,28			



GRAFICO 4,1

ESTUDIO DE DEFLEXIONES

TRAMO : San Ramon - Barranca

FECHA  
PROMEDIO (D):  
DES. EST. ( $\sigma$ ):

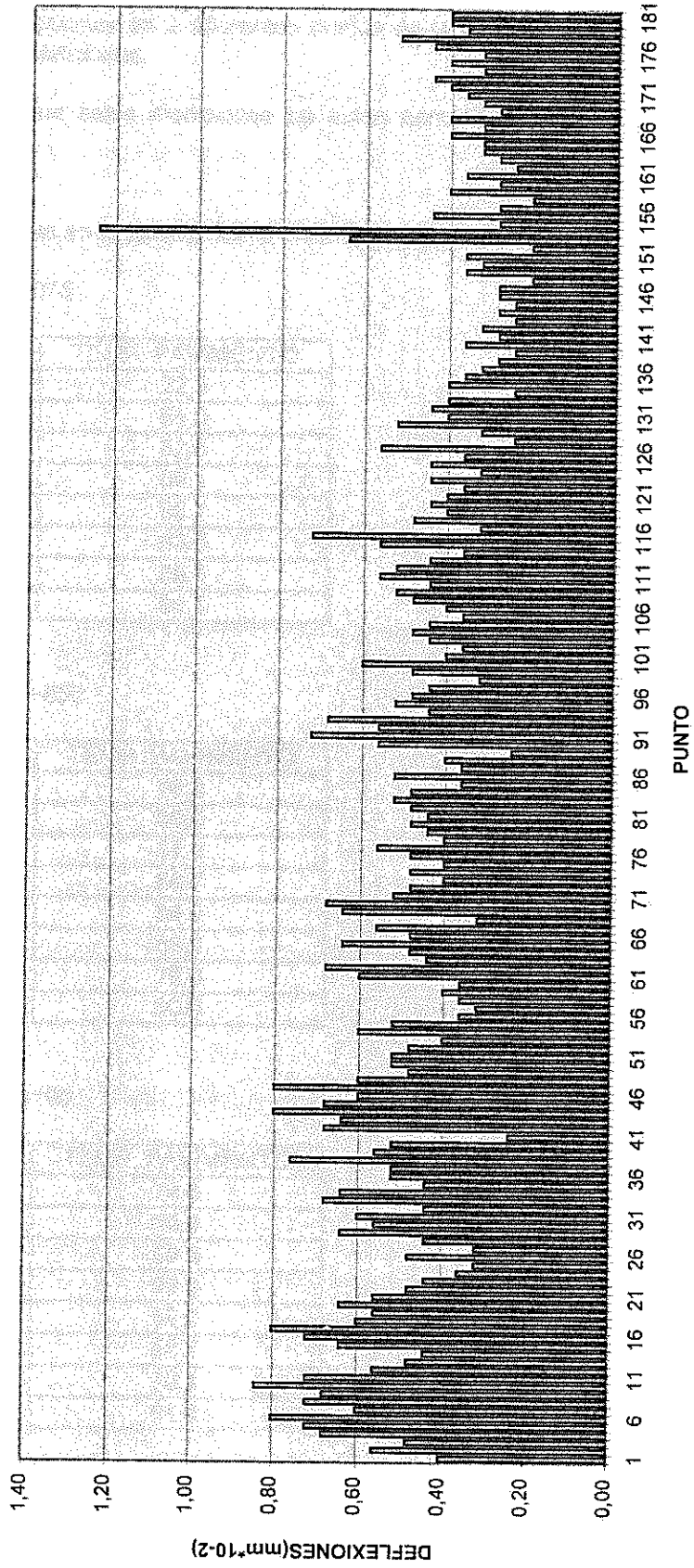
13-6-95  
0,47 mm  
0,15

FACT TEMP  
Dirr

0,96  
0,74 mm

ESTACION INICIAL: 79+000

ANALISIS DEFLECTOMETRICO



#### 4.4 MEDICION DE TEMPERATURAS EN EL PAVIMENTO

Para valorar las condiciones extremas de temperatura y su relación con la rigidez de las capas asfálticas se efectuaron mediciones en 3 diferentes puntos de la vía. En la tabla 4.2 se presentan los resultados de estas mediciones.

Se hace la salvedad de que estas mediciones no están corregidas por el factor de calibración del termómetro utilizado.

TABLA 4.2 Medición de temperaturas en el pavimento.

ESTACION : 105+675

FECHA	TEMP. DEL AIRE	TEMP. PAVIMENTO
15-04-97	41.0	72.3
16-04-97	36.9	61.0
17-04-97	35.0	57.6
18-04-97	37.0	59.1
22-04-97	37.0	58.7
24-04-97	39.3	63.0
25-04-97	40.0	69.6
29-04-97	37.0	60.1

ESTACION : 107+850

FECHA	TEMP. DEL AIRE	TEMP. PAVIMENTO
15-04-97	42.1	76.3
16-04-97	37.3	60.0
17-04-97	34.9	57.8
18-04-97	37.3	58.7
22-04-97	37.0	59.0
24-04-97	39.0	63.0
25-04-97	39.5	70.0
29-04-97	37.3	60.0

ESTACION : 109+100

FECHA	TEMP. DEL AIRE	TEMP. PAVIMENTO
15-04-97	41.0	74.6
16-04-97	37.0	60.0
17-04-97	35.6	59.6
18-04-97	37.0	59.6
22-04-97	37.4	59.0
24-04-97	39.6	62.1
25-04-97	39.0	70.1
29-04-97	37.5	61.4

## 5. ANALISIS ESTRUCTURAL

### 5.1 RETROCALCULO DE MODULOS

Con el propósito de "calibrar" la relación módulo-espesor que mejor se ajuste a la respuesta elástica del pavimento obtenida en el ensayo deflectométrico, se hizo un análisis de sensibilidad iterando para diferentes arreglos modulares. Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 5.1

Posteriormente, a estos resultados se les hace un análisis de consistencia con los parámetros "ai" y la condición de deterioro de pavimento.

En la aplicación del modelo multicapa elástico se consideraron los siguientes parámetros:

CAPA	ESPESOR ( cm )	POISSON	MODULO
C. ASFALTICO	18.0	0.30	variable
BASE	10.0	0.40	variable
SUB-BASE	60.0	0.40	variable
SUB-RASANTE	infinito	0.45	variable

Del análisis efectuado se obtuvo el siguiente rango probable de módulos para una confiabilidad del 90 % (aproximadamente) :

CAPA ASFALTICA	valor máximo	10563 Kg/cm <sup>2</sup>
	valor mínimo	4930 Kg/cm <sup>2</sup>
	valor crítico	2113 Kg/cm <sup>2</sup>
CAPA DE BASE	1408 <sup>+</sup> 141 Kg/cm <sup>2</sup>	
CAPA DE SUB-BASE	986 <sup>+</sup> 106 Kg/cm <sup>2</sup>	
CAPA DE SUB-RASANTE	563 <sup>+</sup> 85 Kg/cm <sup>2</sup>	

En la tabla 5.1 se resumen los resultados del análisis de variación de la deflexión en función de los módulos.

### 5.2 ESTIMACION DEL NUMERO ESTRUCTURAL

Con base en las recomendaciones de la AASHTO y teniendo en cuenta el nivel de deterioro del pavimento, y los resultados del análisis de módulos, se estimó el valor probable de los coeficientes estructurales y el número estructural del pavimento, para un nivel de confianza próximo al 90 %. A continuación se detallan los valores de número estructural para el pavimento existente, para los tramos reconstruidos y para las alternativas de rehabilitación por sobrecapas.

**a) Número estructural probable del pavimento existente, en los tramos con nivel de deterioro severo:**

$$SN = ( 1/2.54 ) * [ 18*(0.1)+10*(0.075)+60*(0.070) ] = 2.658$$

TABLA 5.1 RETROCALCULO DE MODULOS

CAPA	CARPETA	BASE	SUBBASE	SUBRAS	DESPLAZAMIENTO	
ESPEJOR (cm)	19	10,16	61	0	TOTAL	
POISSON (u)	0,3	0,4	0,4	0,45	pulg	mm*10-2
CASO	MODULOS ( Kg/cm <sup>2</sup> )					
1-A	10563	1268	704	493	0,0364	92,456
1-B	10563	1268	704	599	0,0336	85,344
2-A	7042	1268	704	493	0,0406	103,124
2-B	7042	1268	704	599	0,0378	96,012
3-A	3521	1268	704	493	0,0501	127,254
3-B	3521	1268	704	599	0,0471	119,634
4-A	2113	1268	704	493	0,06	152,4
4-B	2113	1268	704	599	0,057	144,78
5-A	10563	1408	704	493	0,0361	91,694
5-B	10563	1408	704	599	0,0333	84,582
6-A	10563	1549	704	493	0,0358	90,932
6-B	10563	1549	704	599	0,0331	84,074
7-A	7042	1408	704	493	0,0403	102,362
7-B	7042	1408	704	599	0,0374	94,996
8-A	7042	1549	704	493	0,0399	101,346
8-B	7042	1549	704	599	0,0371	94,234
9-A	3521	1408	704	493	0,0495	125,73
9-B	3521	1408	704	599	0,0466	118,364
10-A	3521	1549	704	493	0,049	124,46
10-B	3521	1549	704	599	0,0461	117,094
11-A	2113	1408	704	493	0,0593	150,622
11-B	2113	1408	704	599	0,0563	143,002
12-A	2113	1549	704	493	0,0588	149,352
12-B	2113	1549	704	599	0,0577	146,558
13-A	10563	1127	704	493	0,0367	93,218
13-B	10563	1127	704	599	0,0339	86,106
14-A	7042	1127	704	493	0,0411	104,394
14-B	7042	1127	704	599	0,0382	97,028

15-A	3521	1127	704	493	0,0507	128,778
15-B	3521	1127	704	599	0,0477	121,158
16-A	2113	1127	704	493	0,0608	154,432
16-B	2113	1127	704	599	0,0577	146,558
17-A	10563	1127	563	493	0,0387	98,298
17-B	10563	1127	563	599	0,0358	90,932
18-A	7042	1127	563	493	0,0434	110,236
18-B	7042	1127	563	599	0,0404	102,616
19-A	3521	1127	563	493	0,0536	136,144
19-B	3521	1127	563	599	0,0506	128,524
20-A	2113	1127	563	493	0,0641	162,814
20-B	2113	1127	563	599	0,061	154,94
21-A	10563	1268	563	493	0,0384	97,536
21-B	10563	1268	563	599	0,0355	90,17
22-A	7042	1268	563	493	0,0429	108,966
22-B	7042	1268	563	599	0,04	101,6
23-A	3521	1268	563	493	0,0529	134,366
23-B	3521	1268	563	599	0,0499	126,746
24-A	2113	1268	563	493	0,0632	160,528
24-B	2113	1268	563	599	0,0602	152,908
25-A	10563	1408	563	493	0,038	96,52
25-B	10563	1408	563	599	0,0352	89,408
26-A	7042	1408	563	493	0,0425	107,95
26-B	7042	1408	563	599	0,0396	100,584
27-A	3521	1408	563	493	0,0523	132,842
27-B	3521	1408	563	599	0,0493	125,222
28-A	2113	1408	563	493	0,0625	158,75
28-B	2113	1408	563	599	0,0594	150,876
29-A	10563	1690	704	493	0,0356	90,424
29-B	10563	1690	704	599	0,0328	83,312

30-A	7042	1690	704	493	0,0396	100,584
30-B	7042	1690	704	599	0,0368	93,472
31-A	3521	1690	704	493	0,0486	123,444
31-B	3521	1690	704	599	0,0457	116,078
32-A	10563	1408	845	493	0,0346	87,884
32-B	10563	1408	845	599	0,0319	81,026
33-A	7042	1408	845	493	0,0386	98,044
33-B	7042	1408	845	599	0,0358	90,932
34-A	3521	1408	845	493	0,0474	120,396
34-B	3521	1408	845	599	0,0446	113,284
35-A	10563	1690	845	493	0,0342	86,868
35-B	10563	1690	845	599	0,0314	79,756
36-A	7042	1690	845	493	0,0379	96,266
36-B	7042	1690	845	599	0,0352	89,408
37-A	3521	1690	845	493	0,0466	118,364
37-B	3521	1690	845	599	0,0437	110,998
38-A	10563	1408	986	493	0,0335	85,09
38-B	10563	1408	986	599	0,0308	78,232
39-A	704	1408	986	493	0,0372	94,488
39-B	704	1408	986	599	0,0345	87,63
40-A	3521	1408	986	493	0,0458	116,332
40-B	3521	1408	986	599	0,043	109,22
41-A	10563	1338	1056	493	0,0331	84,074
41-B	10563	1338	1056	599	0,0304	77,216
42-A	704	1338	1056	493	0,0368	93,472
42-B	704	1338	1056	599	0,0341	86,614
43-A	3521	1338	1056	493	0,0454	115,316
43-B	3521	1338	1056	599	0,0425	107,95

**b) Número estructural probable en los tramos de menor nivel de deterioro:**

$$SN = (1/2.54)*[(18*0.16) + 10*(0.09) + 60*0.085] = 3.496$$

**c) Valor SN de diseño en tramos reconstruidos con deterioro severo:**

$$SN = (2.953*0.4) + (3.937*0.25) + (5.906*0.135) + (9.843*0.1) + (24.41*0.075) = 5.777$$

**d) Valor SN para la siguiente estrategia de rehabilitación :**

i) sobrecapa de base asfáltica : 12cm

ii) sobrecapa de concreto asfáltico : 8.5cm

Nota: Se estima en este caso un valor de los coeficientes "ai" ligeramente inferior al caso b.

$$SN = (7.087*0.15) + (3.94*0.08) + (23.62*0.08) + (4.72*0.25) + (3.35*0.40) = 5.788$$

**e) Valor SN para la estrategia siguiente de rehabilitación :**

i) Sobrecapa de base asfáltica : 11cm

ii) Sobrecapa de concreto asfáltico : 10cm

$$SN = 3.268 + (1/2.54)*[(11*0.25) + (10*0.40)] = 5.925$$

**f) Valor SN para la siguiente estrategia :**

i) Sobrecapa de base asfáltica : 12cm

ii) Sobrecapa de concreto asfáltico : 10cm

$$SN = 3.268 + (1/2.54)*[(12*0.25) + (10*0.40)] = 6.042$$

**g) Valor SN para la estrategia de sobrecapa de base granular :**

i) Capa de base granular : 15cm

ii) Capa de base asfáltica : 8cm

iii) Capa de concreto asfáltico : 7.5cm

$$SN = 3.268 + (1/2.54)* [(15*0.135) + (8*0.25) + (7.5*0.4)] = 6.034$$

**h) Valor SN para el mismo caso anterior pero con las sobrecapas asfálticas de mayor espesor :**

i) Capa de base granular : 15cm

ii) Capa de base asfáltica : 10cm

iii) Capa de concreto asfáltico : 8.5cm

$$SN = 3.268 + (1/2.54)* [(15*0.135) + (10*0.25) + (8.5*0.4)] = 6.390$$

**i) Caso anterior, aumentando espesor de las capas asfálticas :**

i) Capa de base granular : 15cm

ii) Capa de base asfáltica : 12cm

iii) Capa de concreto asfáltico : 10cm

$$SN = 3.268 + (1/2.54)* [(15*0.135) + (12*0.25) + (10*0.4)] = 6.839$$

### 5.3 ANALISIS DE FATIGA

Considerando que el objetivo fundamental del estudio es determinar, bajo diferentes condiciones de rehabilitación por sobrecapas, un pavimento flexible que tenga un número estructural, según AASHTO, y una capacidad estructural a fatiga igual o superior al que se construyó para los tramos de más alto nivel de deterioro, reconstruidos por medio de un proceso de trituración y conformación, se hizo para cada opción un análisis estructural según AASHTO y un análisis de fatiga en las capas superiores y a nivel de la subrasante, esto con el propósito de proceder al análisis comparativo de alternativas. Se utilizó para esto un modelo multicapa elástico.

El análisis efectuado para cada alternativa comprende un rango de variación de módulos en función de las variaciones climáticas anuales, especialmente por efecto de los cambios de temperatura.

En las tablas de la 5.2 a la 5.8 se presenta en detalle los resultados de este análisis.

La nomenclatura utilizada en estas tablas es la siguiente:

$E_1, E_2$  : Módulo resiliente de las dos primeras capas del pavimento (concreto asfáltico y base asfáltica en  $\text{Kg/cm}^2$ ).

$U_2$  : Desplazamiento total en la superficie ( $\text{mm} \cdot 10^{-2}$ ).

$e_{t(7.5)}$  : Deformación unitaria de tensión en el plano principal, en la primera capa asfáltica, a la profundidad que se indica en cm ( en este caso a 7.5 cm).

$e_{t(17.5)}$  : Deformación unitaria de tensión en el plano principal, en la segunda capa asfáltica, a la profundidad que se indica en cm ( en este caso a 17.5 cm).



$e_{c(119.5)}$  : Deformaciones unitarias de compresión en la sub-rasante a la profundidad indicada (en este caso 119.5 cm).

$NF_1$  : Capacidad a fatiga de la capa asfáltica.

$NF_2$  : Capacidad a fatiga de la base asfáltica.

ND : Capacidad a fatiga de la sub-rasante.

Aclaración :

$NF_1 = 7.5$  : Indica la capacidad a fatiga de la capa asfáltica determinada a 7.5 cm de profundidad (fibra inferior de la capa).

$NF_2 = 17.5$  : Indica la capacidad a fatiga de la base asfáltica determinada a 17.5 cm de profundidad (fibra inferior de la capa).

El modelo multicapa elástico utilizado en cada uno de los casos es el siguiente:

CASO 1: Alternativa original de reconstrucción.

CAPA	ESPEJOR (cm)	POISSON	RANGO DE MODULO
Asfáltica	7.5	0.35	2817 - 28170
Base Asfáltica	10	0.35	2817 - 17606
Base Granular	15	0.40	1972
Sub-base	87	0.40	915
Sub-rasante	infinito	0.45	528

CASO 2.1: Alternativa de sobrecapas : base asfáltica 12 cm, capa asfáltica 8.5 cm.

CAPA	ESPEJOR (cm)	POISSON	RANGO DE MODULO
Asfáltica	8.5	0.35	2817 - 28170
Base Asfáltica	12.0	0.35	2817 - 17606
Capa Asfáltica existente	18.0	0.30	4930 - 10563
Sub-base	70.0	0.40	915
Sub-rasante	infinito	0.45	528

CASO 2.2 : Alternativas de sobrecapas : base asfáltica 11.0 cm, capa asfáltica 10.0 cm.

CAPA	ESPEJOR (cm)	POISSON	RANGO DE MODULO
Asfáltica	10.0	0.35	2817 - 28170
Base Asfáltica	11.0	0.35	2817 - 17606
Capa Asfáltica existente	18.0	0.30	4930 - 10563
Sub-base	70.0	0.40	915
Sub-rasante	infinito	0.45	528

CASO 3.1: Alternativas de sobrecapas : base granular 15.0 cm, base asfáltica 8.0 cm y capa asfáltica 7.5 cm.

CAPA	ESPESOR (cm)	POISSON	RANGO DE MODULO
Asfáltica	7.5	0.35	2817 - 28170
Base Asfáltica	8.0	0.35	2817 - 17606
Base Granular	15.0	0.40	1972
Capa Asfáltica existente	18.0	0.30	4930 - 10563
Sub-base	infinito	0.45	845 - 1408

CASO 3.2 : Alternativas de sobrecapas : base granular 15.0 cm, base asfáltica 10.0 cm y capa asfáltica 8.5 cm.

CAPA	ESPESOR (cm)	POISSON	RANGO DE MODULO
Asfáltica	8.5	0.35	2817 - 28170
Base Asfáltica	10.0	0.35	2817 - 17606
Base Granular	15.0	0.40	1972
Capa Asfáltica existente	18.0	0.30	4930 - 10563
Sub-base	infinito	0.45	845 - 1408

CASO 4 : Alternativas de sobrecapas : base asfáltica 12.0 cm, capa asfáltica 10.0 cm.

CAPA	ESPESOR (cm)	POISSON	RANGO DE MODULO
Asfáltica	10.0	0.35	2817 - 28170
Base Asfáltica	12.0	0.35	2817 - 17606
Capa Asfáltica existente	18.0	0.30	4930 - 10563
Sub-base	70.0	0.40	915
Sub-rasante	infinito	0.45	528

CASO 5 : Alternativas de sobrecapas : base granular 15.0 cm, base asfáltica 12.0 cm y capa asfáltica 10.0 cm.

CAPA	ESPESOR (cm)	POISSON	RANGO DE MODULO
Asfáltica	10.0	0.35	2817 - 28170
Base Asfáltica	12.0	0.35	2817 - 17606
Base Granular	15.0	0.40	1972
Capa Asfáltica existente	18.0	0.30	4930 - 10563
Sub-base	infinito	0.45	845 - 1408

TABLA 5,2 ANALISIS DE FATIGA DEL CASO 2

$E_1$	$E_2$	$U_{z: Z=0}$	$e_{t=(7,5)}$	$e_{t=(17,5)}$	$e_{c=(119,5)}$	$NF_1 = 7,5$	$NF_2 = 17,5$	ND
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(mm*10 <sup>-2</sup> )						
2817	2817	112,268	2,55E-04	5,48E-04	1,860E-04	6,26E+06	5,05E+05	6,86E+07
2817	7042	98,044	8,65E-05	4,71E-04	1,82E-04	2,20E+08	3,80E+05	7,56E+07
2817	17606	88,900	1,91E-04	3,55E-04	1,78E-04	1,62E+07	4,41E+05	8,36E+07
5282	2817	103,124	3,49E-04	5,28E-04	1,79E-04	1,30E+06	5,71E+05	8,15E+07
5282	7042	89,408	2,44E-05	4,52E-04	1,75E-04	8,27E+09	4,35E+05	9,02E+07
5282	17606	80,772	1,25E-04	3,36E-04	1,72E-04	3,83E+07	5,28E+05	9,74E+07
1056	2817	95,250	3,96E-04	4,91E-04	1,72E-04	3,40E+06	7,25E+05	9,74E+07
1056	7042	82,550	1,20E-04	4,28E-04	1,66E-04	1,73E+08	5,21E+05	1,14E+08
1056	17606	73,914	4,46E-05	3,13E-04	1,63E-04	4,49E+09	6,67E+05	1,24E+08
28169	2817	85,090	3,54E-04	4,07E-04	1,63E-04	2,98E+05	1,34E+06	1,24E+08
28169	7042	74,930	1,86E-04	3,81E-04	1,55E-04	2,48E+06	7,64E+05	1,55E+08
28169	17606	66,548	5,14E-05	2,80E-04	1,49E-04	1,71E+08	9,63E+05	1,85E+08

TABLA 5,3 ANALISIS DE FATIGA DEL CASO 2,2

$E_1$	$E_2$	$U_z : Z=0$	$e_t = (8,5)$	$e_t = (20,5)$	$e_c = (108,62)$	$NF_1 = 8,5$	$NF_2 = 20,6$	ND
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(mm*10 <sup>-2</sup> )						
2817	2817	96,266	3,26E-04	1,48E-04	1,95E-04	2,79E+06	3,75E+07	5,55E+07
2817	2817	89,916	3,44E-04	2,02E-05	1,84E-04	2,34E+06	2,64E+10	7,20E+07
2817	7042	82,804	2,70E-05	1,80E-04	1,82E-04	1,01E+10	9,01E+06	7,56E+07
2817	7042	76,708	4,44E-05	6,32E-05	1,69E-04	1,97E+09	2,82E+08	1,05E+08
2817	17606	75,692	9,18E-05	1,71E-04	1,71E-04	1,81E+08	4,88E+06	1,00E+08
2817	17606	69,596	5,74E-05	8,56E-05	1,54E-04	8,48E+08	4,76E+07	1,60E+08
5282	2817	86,868	3,58E-04	1,48E-04	1,86E-04	1,20E+06	3,75E+07	6,86E+07
5282	2817	80,772	3,55E-04	2,39E-05	1,75E-04	1,23E+06	1,52E+10	9,02E+07
5282	7042	74,422	7,77E-05	1,79E-04	1,73E-04	1,83E+08	9,18E+06	9,49E+07
5282	7042	68,580	9,25E-05	6,71E-05	1,60E-04	1,03E+08	2,32E+08	1,35E+08
5282	17606	67,564	5,70E-05	1,67E-04	1,64E-04	5,07E+08	5,27E+06	1,21E+08
5282	17606	61,976	3,43E-05	8,60E-05	1,48E-04	2,70E+09	4,68E+07	1,91E+08
10563	2817	79,248	3,58E-04	1,41E-04	1,75E-04	6,63E+05	4,40E+07	9,02E+07
10563	2817	73,660	3,41E-04	2,59E-05	1,64E-04	7,78E+05	1,16E+10	1,21E+08
10563	7042	68,072	1,26E-04	1,77E-04	1,62E-04	2,06E+07	9,52E+06	1,27E+08
10563	7042	62,738	1,24E-04	7,06E-05	1,49E-04	2,17E+07	1,96E+08	1,85E+08
10563	17606	61,722	1,13E-05	1,62E-04	1,55E-04	5,77E+10	5,83E+06	1,55E+08
10563	17606	56,642	7,59E-06	8,73E-05	1,39E-04	2,14E+11	4,46E+07	2,53E+08
28169	2817	70,358	2,91E-04	1,24E-04	1,62E-04	5,68E+05	6,72E+07	1,27E+08
28169	2817	65,278	2,70E-04	2,48E-05	1,52E-04	7,26E+05	1,34E+10	1,69E+08
28169	7042	61,468	1,54E-04	1,66E-04	1,48E-04	4,61E+06	1,18E+07	1,91E+08
28169	7042	56,388	1,40E-04	7,29E-05	1,34E-04	6,31E+06	1,76E+08	2,98E+08
28169	17606	55,626	5,01E-05	1,52E-04	1,39E-04	1,86E+08	7,19E+06	2,53E+08
28169	17606	51,308	4,66E-05	8,87E-05	1,25E-04	2,36E+08	4,23E+07	4,07E+08

TABLA 5,4 ANALISIS DE FATIGA DEL CASO 2,3

$E_1$	$E_2$	$U_z : Z=0$	$e_{t=3,94}$	$e_{t=8,27}$	$e_{c=42,965}$	$NF_1 = 3,94$	$NF_2 = 8,27$	ND
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(mm*10 <sup>-2</sup> )						
2817	2817	96,012	3,63E-04	1,46E-04	1,93E-04	1,96E+06	3,93E+07	5,82E+07
2817	7042	84,582	5,84E-05	1,77E-04	1,82E-04	8,01E+08	9,52E+06	7,56E+07
5282	7042	74,422	1,06E-04	1,76E-04	1,72E-04	6,58E+07	9,70E+06	9,74E+07
5282	7042	68,834	1,14E-04	6,63E-05	1,59E-04	5,18E+07	2,41E+08	1,39E+08
10563	7042	67,056	1,46E-04	1,73E-04	1,59E-04	1,27E+07	1,03E+07	1,39E+08
10563	7042	61,976	1,38E-04	6,98E-05	1,47E-04	1,53E+07	2,04E+08	1,97E+08
28169	7042	55,118	1,40E-04	7,09E-05	1,32E-04	6,31E+06	1,93E+08	3,19E+08
28169	17606	50,800	5,61E-05	8,68E-05	1,23E-04	1,28E+08	4,54E+07	4,37E+08

TABLA 5,5 ANALISIS DE FATIGA DEL CASO 3,3

$E_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$U_z: Z=0$ (mm*10 <sup>-2</sup> )	$e_{t=(7,5)}$	$e_{t=(15,5)}$	$e_{c=(118,6)}$	$NF_1 = 7,5$	$NF_2 = 15,5$	ND
2817	2817	73,660	3,41E-04	5,81E-04	8,88E-05	2,41E+06	4,17E+05	1,88E+09
2817	2817	80,772	3,29E-04	5,74E-04	1,11E-04	2,71E+06	4,34E+05	6,92E+08
2817	2817	87,376	3,20E-04	5,69E-04	1,31E-04	2,97E+06	4,46E+05	3,30E+08
2817	2817	70,358	3,56E-04	5,80E-04	8,60E-05	2,09E+06	4,19E+05	2,17E+09
2817	2817	76,962	3,46E-04	5,74E-04	1,06E-04	2,29E+06	4,34E+05	8,51E+08
2817	2817	83,058	3,38E-04	5,68E-04	1,25E-04	2,48E+06	4,49E+05	4,07E+08
5282	7042	55,626	8,42E-05	4,51E-04	8,49E-05	1,40E+08	4,39E+05	2,30E+09
5282	7042	62,230	7,71E-05	4,50E-04	1,05E-04	1,88E+08	4,42E+05	8,88E+08
5282	7042	68,580	7,15E-05	4,49E-04	1,23E-04	2,40E+08	4,45E+05	4,37E+08
5282	7042	52,578	9,39E-05	4,41E-04	8,21E-05	9,81E+07	4,72E+05	2,67E+09
5282	7042	58,928	8,75E-05	4,39E-04	1,01E-04	1,24E+08	4,79E+05	1,06E+09
5282	7042	64,770	8,26E-05	4,37E-04	1,18E-04	1,50E+08	4,87E+05	5,26E+08
10563	7042	50,292	1,57E-04	4,23E-04	8,17E-05	1,00E+07	5,42E+05	2,73E+09
10563	7042	56,642	1,52E-04	4,23E-04	1,01E-04	1,11E+07	5,42E+05	1,06E+09
10563	7042	62,738	1,49E-04	4,24E-04	1,18E-04	1,19E+07	5,37E+05	5,26E+08
10563	7042	47,498	1,59E-04	4,12E-04	7,92E-05	9,59E+06	5,91E+05	3,14E+09
10563	7042	53,594	1,55E-04	4,11E-04	9,68E-05	1,04E+07	5,95E+05	1,28E+09
10563	7042	59,182	1,52E-04	4,11E-04	1,12E-04	1,11E+07	5,95E+05	6,65E+08
10563	17606	43,942	9,02E-06	3,05E-04	8,07E-05	1,21E+11	7,27E+05	2,88E+09
10563	17606	50,292	9,02E-06	3,07E-04	9,22E-05	1,21E+11	7,11E+05	1,59E+09
10563	17606	56,388	1,83E-05	3,08E-04	1,16E-04	1,18E+10	7,03E+05	5,68E+08
10563	17606	41,402	1,69E-07	2,94E-04	7,81E-05	5,86E+16	8,20E+05	3,34E+09
10563	17606	47,498	9,64E-06	2,94E-04	9,52E-05	9,73E+10	8,20E+05	1,38E+09
10563	17606	53,086	6,20E-06	2,95E-04	1,11E-04	4,16E+11	8,11E+05	6,92E+08
28169	17606	38,862	7,13E-05	2,71E-04	7,55E-05	5,81E+07	1,07E+06	3,89E+09
28169	17606	44,958	6,99E-05	2,74E-04	9,24E-05	6,20E+07	1,03E+06	1,57E+09
28169	17606	50,546	6,88E-05	2,76E-04	1,08E-04	6,54E+07	1,01E+06	7,83E+08
28169	17606	36,576	7,11E-05	2,60E-04	7,34E-05	5,86E+07	1,23E+06	4,41E+09
28169	17606	42,418	6,97E-05	2,61E-04	8,91E-05	6,26E+07	1,21E+06	1,85E+09
28169	17606	47,752	6,85E-05	2,63E-04	1,03E-04	6,63E+07	1,18E+06	9,68E+08

TABLA 5.6 ANALISIS DE FATIGA DEL CASO 3,4

$E_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$U_z : z=0$ (mm*10 <sup>-2</sup> )	$e_t = 3.35$	$e_t = 7.29$	$e_c = 47.885$	$NF_1 = 3,35$	$NF_2 = 7,29$	ND
2817	2817	72,644	3,75E-04	5,07E-04	8,46E-05	1,76E+06	6,52E+05	2,34E+09
2817	2817	79,502	3,65E-04	5,02E-04	1,05E-04	1,92E+06	6,74E+05	8,88E+08
2817	2817	85,852	3,57E-04	4,98E-04	1,24E-04	2,07E+06	6,92E+05	4,22E+08
2817	2817	69,850	3,87E-04	5,05E-04	8,21E-05	1,59E+06	6,61E+05	2,67E+09
2817	2817	76,200	3,78E-04	4,99E-04	1,02E-04	1,71E+06	6,88E+05	1,01E+09
2817	2817	82,042	3,71E-04	4,95E-04	1,19E-04	1,82E+06	7,06E+05	5,07E+08
5282	7042	52,832	1,01E-04	3,85E-04	8,03E-05	7,72E+07	7,38E+05	2,95E+09
5282	7042	59,690	9,45E-05	3,85E-04	9,91E-05	9,60E+07	7,38E+05	1,15E+09
5282	7042	65,278	8,97E-05	3,84E-04	1,16E-04	1,14E+08	7,45E+05	5,68E+08
5282	7042	50,292	1,08E-04	3,75E-04	7,80E-05	6,19E+07	8,05E+05	3,36E+09
5282	7042	56,388	1,03E-04	3,74E-04	9,55E-05	7,23E+07	8,12E+05	1,36E+09
5282	7042	61,976	9,86E-05	3,73E-04	1,11E-04	8,35E+07	8,19E+05	6,92E+08
10563	7042	46,990	1,59E-04	3,55E-04	7,69E-05	9,59E+06	9,64E+05	3,58E+09
10563	7042	53,086	1,55E-04	3,56E-04	9,46E-05	1,04E+07	9,55E+05	1,42E+09
10563	7042	58,928	1,53E-04	3,56E-04	1,11E-04	1,09E+07	9,55E+05	6,92E+08
10563	7042	44,704	1,61E-04	3,45E-04	7,49E-05	9,20E+06	1,06E+06	4,03E+09
10563	7042	50,546	1,58E-04	3,45E-04	9,13E-05	9,79E+06	1,06E+06	1,66E+09
10563	7042	56,134	1,55E-04	3,45E-04	1,06E-04	1,04E+07	1,06E+06	8,51E+08
10563	17606	40,640	5,41E-06	2,53E-04	7,56E-05	6,51E+11	1,34E+06	3,86E+09
10563	17606	46,736	2,09E-06	2,55E-04	9,28E-05	1,49E+13	1,31E+06	1,54E+09
10563	17606	52,324	6,43E-06	2,57E-04	1,08E-04	3,69E+11	1,28E+06	7,83E+08
10563	17606	38,608	9,71E-06	2,44E-04	7,35E-05	9,50E+10	1,51E+06	4,38E+09
10563	17606	44,196	6,63E-06	2,45E-04	8,94E-05	3,33E+11	1,49E+06	1,82E+09
10563	17606	49,784	4,24E-06	2,45E-04	1,04E-04	1,45E+12	1,49E+06	9,27E+08
28169	17606	35,306	6,72E-05	2,20E-04	7,00E-05	7,06E+07	2,13E+06	5,45E+09
28169	17606	41,148	6,61E-05	2,25E-04	8,56E-05	7,46E+07	1,98E+06	2,22E+09
28169	17606	46,482	6,52E-05	2,27E-04	9,97E-05	7,80E+07	1,92E+06	1,12E+09
28169	17606	33,782	6,72E-05	2,13E-04	6,84E-05	7,06E+07	2,37E+06	6,05E+09
28169	17606	39,116	6,60E-05	2,15E-04	8,29E-05	7,49E+07	2,30E+06	2,56E+09
28169	17606	44,196	6,50E-05	2,16E-04	9,59E-05	7,88E+07	2,26E+06	1,33E+09

TABLA 5,7 ANALISIS DE FATIGA DEL CASO 4

$E_1$	$E_2$	$U_z : Z=0$	$e_t = 3.94$	$e_t = 8.66$	$e_c = 43.335$	$NF_1 = 3,94$	$NF_2 = 8,66$	ND
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(mm*10 <sup>-2</sup> )						
2817	2817	95,504	3,67E-04	1,42E-04	1,88E-04	1,89E+06	4,30E+07	6,54E+07
2817	2817	896,620	3,79E-04	2,13E-05	1,78E-04	1,70E+06	2,21E+10	8,36E+07
2817	7042	83,312	6,15E-05	1,71E-04	1,76E-04	6,75E+08	1,07E+07	8,79E+07
2817	7042	77,470	8,85E-05	6,17E-05	1,63E-04	2,04E+08	3,06E+08	1,24E+08
2817	17606	76,708	6,91E-05	1,62E-04	1,66E-04	4,60E+08	5,83E+06	1,14E+08
2817	17606	71,120	3,92E-05	8,19E-05	1,49E-04	2,97E+09	5,50E+07	1,85E+08
5282	7042	73,406	1,07E-04	1,69E-04	1,66E-04	6,38E+07	1,11E+07	1,14E+08
5282	7042	68,072	1,16E-04	6,53E-05	1,54E-04	4,89E+07	2,54E+08	1,60E+08
5282	17606	67,056	3,45E-05	1,58E-04	1,58E-04	2,65E+09	6,33E+06	1,42E+08
5282	17606	61,976	1,61E-05	8,23E-05	1,43E-04	3,25E+10	5,41E+07	2,23E+08
10563	7042	66,040	1,45E-04	1,66E-04	1,54E-04	1,30E+07	1,18E+07	1,60E+08
10563	7042	60,960	1,39E-04	6,78E-05	1,42E-04	1,49E+07	2,24E+08	2,30E+08
10563	17606	60,198	1,55E-05	1,52E-04	1,48E-04	2,04E+10	7,19E+06	1,91E+08
10563	17606	55,626	2,28E-05	8,35E-05	1,33E-04	5,72E+09	5,16E+07	3,08E+08
28169	7042	58,928	1,56E-04	1,52E-04	1,40E-04	4,42E+06	1,57E+07	2,45E+08
28169	7042	54,356	1,41E-04	6,87E-05	1,28E-04	6,16E+06	2,15E+08	3,66E+08
28169	17606	53,848	6,05E-05	1,41E-04	1,32E-04	9,98E+07	9,20E+06	3,19E+08
28169	17606	49,784	5,54E-05	8,36E-05	1,19E-04	1,33E+08	5,14E+07	5,07E+08



TABLA 5.8 ANALISIS DE FATIGA DEL CASO 5

$E_1$	$E_2$	$U_{z: Z=0}$	$e_{t=3,94}$	$e_{t=8,66}$	$e_c = 21,665$	$NF_1 = 3,94$	$NF_2 = 8,66$	ND
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(mm*10 <sup>-2</sup> )						
5282	7042	50,292	1,25E-04	3,18E-04	2,83E-04	3,83E+07	1,38E+06	1,05E+07
5282	7042	56,388	1,20E-04	3,18E-04	3,30E-04	4,38E+07	1,38E+06	5,27E+06
5282	7042	62,230	1,16E-04	3,18E-04	3,68E-04	4,89E+07	1,38E+06	3,23E+06
5282	7042	48,260	1,31E-04	3,09E-04	2,43E-04	3,28E+07	1,52E+06	2,07E+07
5282	7042	54,102	1,26E-04	3,08E-04	2,78E-04	3,73E+07	1,54E+06	1,14E+07
5282	7042	59,436	1,23E-04	3,08E-04	3,05E-04	4,03E+07	1,54E+06	7,50E+06
10563	7042	43,942	1,66E-04	2,89E-04	2,59E-04	8,32E+06	1,90E+06	1,56E+07
10563	7042	49,530	1,64E-04	2,90E-04	3,01E-04	8,66E+06	1,88E+06	7,95E+06
10563	7042	55,118	1,62E-04	2,91E-04	3,35E-04	9,02E+06	1,85E+06	4,93E+06
10563	7042	41,910	1,68E-04	2,80E-04	2,24E-04	8,00E+06	2,11E+06	2,99E+07
10563	7042	47,498	1,65E-04	2,80E-04	2,55E-04	8,49E+06	2,11E+06	1,67E+07
10563	7042	52,578	1,63E-04	2,80E-04	2,80E-04	8,84E+06	2,11E+06	1,10E+07
10563	17606	37,592	2,24E-05	2,06E-04	2,34E-04	6,07E+09	2,64E+06	2,46E+07
10563	17606	43,434	1,97E-05	2,09E-04	2,72E-04	9,26E+09	2,52E+06	1,25E+07
10563	17606	48,768	1,77E-05	2,10E-04	3,03E-04	1,32E+10	2,48E+06	7,72E+06
10563	17606	36,068	2,56E-05	1,98E-04	2,05E-04	3,91E+09	3,01E+06	4,44E+07
10563	17606	41,402	2,31E-05	1,99E-04	2,34E-04	5,48E+09	2,96E+06	2,46E+07
10563	17606	46,482	2,11E-05	2,00E-04	2,57E-04	7,38E+09	2,91E+06	1,61E+07

## 5.4 SINTESIS DE RESULTADOS

Para determinar la capacidad a fatiga en las dos primeras capas se determinaron las deformaciones unitarias de tensión en la dirección de los planos principales y para la sub-rasante, las deformaciones unitarias de compresión en la dirección vertical.

En la tabla 5.7 se presenta una síntesis de los resultados del análisis de capacidad a fatiga para cada una de las opciones descritas en el apartado 5.3 (caso 1 a caso 5).

Respecto a la condición climática se presenta, en la tabla 5.7, la combinación probable de módulos desde la condición más crítica hasta la condición más favorable, separados en columnas en orden consecutivo, siendo la condición más crítica la columna 1 y la relación modular más favorable la última columna de la tabla.

Además para cada una de estas condiciones climáticas (de 1 a 5) se presentan dos posibles combinaciones de módulos, condición A y condición B, siendo la primera la más desfavorable.

De este análisis se concluye que la alternativa de colocar una sobrecapa de material granular, aunque favorece desde el punto de vista del número estructural, resulta, por la relación modular de las capas, de menor capacidad a fatiga respecto a la alternativa de colocar directamente la sobrecapa asfáltica (base y capa de rodamiento), por lo tanto esa alternativa (base granular), resulta no viable tanto desde el punto de vista técnico como económico.

## 6. ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Opción 1 :

Colocar sobre el pavimento existente:

12.0 cm de base asfáltica

8.5 cm de concreto asfáltico (capa de rodamiento).

Opción 2 :

Teniendo en cuenta las condiciones de irregularidad superficial que presenta el pavimento existente y la conveniencia de mantener constante el espesor de la capa de rodamiento en todo el proyecto, se propone la opción de colocar sobre el pavimento existente:

15.0 cm de base asfáltica

7.5 cm de concreto asfáltico (capa de rodamiento).

TABLA 5,7

## CAPACIDAD A FATIGA SEGUN VARIACION ANUAL DE MODULOS

## NOMENCLATURA

CASO 1- CAPA 1 : Capacidad a fatiga en la capa de rodadura

CASO 1 - CAPA 2 : Capacidad a fatiga en la base asfáltica

CONDICION A : Combinación de módulos para el rango mínimo probable en cada condición de temperatura

CONDICION B : Combinación de módulos para el rango máximo probable en cada condición de temperatura

## CONDICION CLIMATICA

1. Temperatura muy alta
2. Temperatura alta
3. Temperatura moderadamente alta
4. Temperatura moderada
5. Temperatura baja

		CAPACIDAD A FATIGA ( EJES EQUIVALENTES * 10 <sup>6</sup> ) Condición Climática					
		1	2	3	4	5	
<b>CASO 1</b>	<b>CAPA 1</b> Condición A	6,26	>1000	173	2,48		
		220	38,3	>1000	171		
	<b>CAPA 2</b> Condición A	0,505	0,435	0,521	0,764		
		0,38	528	0,667	0,963		
	<b>CASO 2.1</b>	<b>CAPA 1</b> Condición A	2,79	183	20,6	6,31	
			>1000	103	21,7	236	
<b>CAPA 2</b> Condición A		37,5	9,18	9,52	176		
		9,01	232	196	42,3		

<b>CASO 2.2</b>	<b>CAPA 1</b> Condición A	1,96	65,8	12,7	6,31	
	Condición B	801	51,8	15,3	128	
	<b>CAPA 2</b> Condición A	39,3	9,7	10,3	193	
Condición B	9,52	241	204	45,4		
<b>CASO 3.1</b>	<b>CAPA 1</b> Condición A	2,41	140	10	>1000	58,1
	Condición B	2,97	240	11,9	>1000	6,54
	<b>CAPA 2</b> Condición A	0,417	0,439	0,542	0,727	1,07
Condición B (*)	0,446	0,445	0,537	0,703	1,01	
<b>CASO 3.1(**)</b>	<b>CAPA 1</b> Condición A	2,09	98,1	9,59	>1000	58,6
	Condición B	2,48	150	11,1	>1000	66,3
	<b>CAPA 2</b> Condición A	0,419	0,472	0,591	0,82	1,23
Condición B (*)	0,449	0,487	0,595	0,811	1,18	
<b>CASO 3.2</b>	<b>CAPA 1</b> Condición A	1,76	77,2	9,59	>1000	70,6
	Condición B	2,07	114	10,9	>1000	78
	<b>CAPA 2</b> Condición A	0,652	0,738	0,964	1,34	2,13
Condición B(*)	0,692	0,745	0,955	1,28	1,92	
<b>CASO 3.2 (**)</b>	<b>CAPA 1</b> Condición A	1,59	61,9	9,2	>1000	70,6
	Condición B	1,82	83,5	10,4	>1000	78,8
	<b>CAPA 2</b> Condición A	0,661	0,805	1,06	1,51	2,37
Condición B(*)	0,706	0,819	1,06	1,49	2,26	
<b>CASO 4</b>	<b>CAPA 1</b> Condición A	1,89	63,8	13	6,16	
	Condición B	6,75	48,9	14,9	133	
	<b>CAPA 2</b> Condición A	43	11,1	11,8	215	
Condición B	10,7	254	224	51,4		

<b>CASO 5</b>	<b>CAPA 1</b> Condición A					
			38,3	8,32	>1000	
	Condición B					
			48,9	9,02	>1000	
	<b>CAPA 2</b>	Condición A				
				1,38	1,9	2,64
Condición B						
			1,38	1,85	2,48	
<b>CASO 5(**)</b>	<b>CAPA 1</b> Condición A					
			32,8	8	>1000	
	Condición B					
			40,3	8,84	>1000	
	<b>CAPA 2</b>	Condición A				
				1,52	2,11	3,01
Condición B						
			1,54	2,11	2,91	

(\*) = Combinación de módulos poco probable

3.1 (\*\*) = Corresponde al caso 3,1 pero ausmiendo el rango más bajo de módulo a nivel de las capas granulares existentes

3.2 (\*\*) = Corresponde al caso 3,2 pero ausmiendo el rango más bajo de módulo a nivel de las capas granulares existentes

5 (\*\*) = Corresponde al caso 5 pero ausmiendo el rango más bajo de módulo a nivel de las capas granulares existentes

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las mediciones de temperatura efectuadas en el pavimento muestran que este parámetro influye de forma muy significativa en la capacidad a fatiga de la estructura del pavimento, así como en las deformaciones permanentes (tipo ahuellamiento) o por flujo lateral, del concreto asfáltico.
2. Los resultados obtenidos muestran que para las opciones de pavimento propuestas, no es de esperar que se presenten problemas de fatiga a nivel de la sub-rasante. Esta situación solo se podrá presentar en aquellos puntos que por determinada circunstancia alguna de las capas inferiores o la misma sub-rasante no hayan sido conformadas adecuadamente y se presenten además problemas de saturación. Este es un fenómeno puntual que se debe "detectar" en las operaciones de reparación, previo a la colocación de las sobrecapas.
3. En consideración a lo indicado en el punto anterior, previo a la colocación de la sobrecapa asfáltica, se deben reparar de forma apropiada todos los daños de tipo puntual que presente el pavimento. Esta reparación implica que se deben inspeccionar y si es del caso reparar las capas inferiores, previo a la colocación de la mezcla en los puntos que requieren reparación. Esta condición es especialmente crítica en aquellos puntos donde el pavimento presenta simultáneamente agrietamiento y deformaciones.
4. Para los tramos de menor deterioro, de acuerdo con los análisis efectuados, la opción de colocar directamente la base asfáltica y luego la capa de rodamiento, resulta la más eficiente desde el punto de vista de capacidad estructural a fatiga.
5. Para el arreglo estructural propuesto resulta muy importante que tanto al drenaje superficial (bombeo) como el drenaje lateral funcionen de forma muy eficiente. En las condiciones topográficas de este proyecto, si el drenaje superficial no funciona eficientemente, el agua se infiltra y corre longitudinal a la línea centro en la interface con la capa asfáltica existente. Esto provoca desprendimiento entre capas, desprendimiento de agregados, oxidación y deterioro prematuro en la capa asfáltica.
6. El diseño de mezcla y la selección del tipo de asfalto en este proyecto debe considerar el efecto de carga, presión de inflado y velocidad de los camiones, así como las temperaturas máximas que se presentan en las diferentes zonas del proyecto. Este aspecto es crítico desde el punto de vista del comportamiento a largo plazo del pavimento.
7. Conviene coordinar el proceso constructivo de modo que transcurra el mínimo plazo posible entre la colocación de las dos sobrecapas, a fin de evitar que se pierda una adecuada adherencia entre capas.