



5

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



**ESTUDIO DEL PAVIMENTO  
PLATAFORMA REMOTA**

**AEROPUERTO INTERNACIONAL  
JUAN SANTAMARIA**

Informe final  
San José, Costa Rica.

INFORME LM-IC-I-11-96  
1996

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



**ESTUDIO DEL PAVIMENTO  
PLATAFORMA REMOTA**

**AEROPUERTO INTERNACIONAL  
JUAN SANTAMARIA**

Informe final  
San José, Costa Rica.

INFORME LM-IC-I-11-96  
1996

25 de enero de 1996  
LM-IC-I-11-96

Señor  
**Ing. Nelson Rodríguez G.**  
Director General  
Aviación Civil  
Presente

Estimado señor:

Por este medio me permito adjuntarle el estudio del pavimento existente en la Plataforma Remota del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría de acuerdo con los términos de nuestra oferta LM-IC-C-114-95.

En espera de que este informe cumpla con las expectativas de su representada, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración.

Atentamente,



**Dr. Juan A. Pastor Gómez**  
Director  
Laboratorio Nacional de Materiales  
y Modelos Estructurales

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS

**LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y  
MODELOS ESTRUCTURALES**

1. ...  
2. ...  
3. ...  
4. ...  
5. ...  
6. ...  
7. ...  
8. ...  
9. ...  
10. ...  
11. ...  
12. ...  
13. ...  
14. ...  
15. ...  
16. ...  
17. ...  
18. ...  
19. ...  
20. ...  
21. ...  
22. ...  
23. ...  
24. ...  
25. ...  
26. ...  
27. ...  
28. ...  
29. ...  
30. ...  
31. ...  
32. ...  
33. ...  
34. ...  
35. ...  
36. ...  
37. ...  
38. ...  
39. ...  
40. ...  
41. ...  
42. ...  
43. ...  
44. ...  
45. ...  
46. ...  
47. ...  
48. ...  
49. ...  
50. ...  
51. ...  
52. ...  
53. ...  
54. ...  
55. ...  
56. ...  
57. ...  
58. ...  
59. ...  
60. ...  
61. ...  
62. ...  
63. ...  
64. ...  
65. ...  
66. ...  
67. ...  
68. ...  
69. ...  
70. ...  
71. ...  
72. ...  
73. ...  
74. ...  
75. ...  
76. ...  
77. ...  
78. ...  
79. ...  
80. ...  
81. ...  
82. ...  
83. ...  
84. ...  
85. ...  
86. ...  
87. ...  
88. ...  
89. ...  
90. ...  
91. ...  
92. ...  
93. ...  
94. ...  
95. ...  
96. ...  
97. ...  
98. ...  
99. ...  
100. ...

**Estudio del Pavimento**

**Plataforma Remota**

**Aeropuerto Juan Santamaría**

**Enero 1996**

**ESTUDIO DE PAVIMENTO EN LA PLATAFORMA REMOTA  
AEROPUERTO JUAN SANTAMARÍA**

**INDICE**

1.	Descripción del Estudio .....	4
2.	La Sub-Rasante .....	4
3.	Capa de Sub-Base .....	5
4.	Capa de Base .....	7
5.	Capa Asfáltica .....	9
6.	Deflectometría .....	12
7.	Inspección Visual .....	14
8.	Comentarios Respecto a los Resultados de Laboratorio....	14
9.	Capacidad Estructural del Pavimento .....	17
	9.1    Número Estructural AASHTO	
	9.2    Análisis de Esfuerzos y Deformaciones	
10.	Comentarios Finales .....	23
Anexo A:	Croques de Ubicación de los Sondeos	

## 1. Descripción del Estudio

Con el propósito de obtener información respecto a los principales parámetros del pavimento de la Plataforma Remota, se realizó un conjunto de ensayos de campo y de laboratorio que adelante se detallan. El procedimiento metodológico incluye una valoración visual, el análisis deflectométrico con Viga Benkelman, ensayos de laboratorio a los elementos estructurales del pavimento (sub-rasante, sub-base, base y concreto asfáltico), así como el análisis de esfuerzos y deformaciones según un modelo multicapa elástico.

Adicionalmente, como parte de la información a considerar en este estudio, se tiene el documento: "Términos de Referencia, Licitación Pública # 8-92, Construcción de Plataforma Remota para la Aviación Comercial Aeropuerto Internacional Juan Santamaría".

En el Anexo se presenta el croquis de ubicación de los sondeos y del ensayo de Viga Benkelman.

## 2. La Sub-Rasante

De los ensayos realizados se concluye lo siguiente:

- Se detectó un suelo sub-rasante de mediana plasticidad. En el ensayo de límites de Atterberg (AASHTO T89-T90) se obtuvo:

Límite Líquido = 51.6

Límite Plástico = 31.6

Índice Plástico = 20.1

- En el ensayo Próctor Estándar (AASHTO T -99) se tiene:

Densidad Máxima= 1169 kg/m<sup>3</sup>

Humedad Óptima = 40.5%

- En el ensayo de capacidad de soporte se obtuvo un valor de CBR= 5 al 95% de compactación, con 40.9% de humedad.

### 3. Capa de Sub-Base

Los principales resultados obtenidos de los ensayos realizados a la capa de sub-base son los siguientes:

- **Espesor (ver croquis de ubicación de las muestras en Anexo A)**

Perforación N°	Espesor en cm
P1	23.0
P15	25.5

- **Compactación Respecto a la Densidad Máxima Próctor Modificado (AASHTO - T 180)**

Muestra N°	Densidad Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Seca (kg/m <sup>3</sup> )	Porcentaje de Humedad	Porcentaje de Compactación
P 1	1908	1693	12.72	89
P 15	1932	1460	32.34	77

- **Densidad Máxima Próctor Modificado (AASHTO - T180)**

Muestra P1

Humedad Optima: 11.3%  
 Densidad Máxima: 1892 kg/m<sup>3</sup>

- **Granulometría (AASHTO T-88)**

Muestra P1 B, sub-base

Malla N°	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido	Porcentaje Ret. Acumulado	Porcentaje Pasando
3.81cm	-	-	-	100
2.54cm	401.0	3.22	3.22	97
4	5820.0	44.54	47.76	52
40	4040.7	30.92	78.68	21
200	1435.5	10.99	89.67	10

- **Límites de Atterberg (AASHTO T89 - T90)**

Muestra P1

El material es NP (no plástico)

- **Índice de Soporte de California (CBR) (AASHTO T-193)**

Muestra P1

CBR 95% de Compactación: 63

Contenido de Humedad: 10.6%

#### 4. Capa de Base

Con respecto a la capa de base los principales parámetros analizados son los siguientes:

- **Espesor (ver croquis de ubicación de en muestreos en Anexo A)**

Perforación N°	Espesor en cm
P1	22.0
P15	24.0

- **Compactación Respecto a la Densidad Máxima Próctor Modificado (AASHTO T 180)**

Muestra N°	Densidad Humeda (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Seca (kg/m <sup>3</sup> )	Porcentaje de Humedad	Porcentaje de Compactación
P 1	1908	1693	12.72	89
P 15	1932	1460	32.34	77

- **Densidad Máxima Próctor Modificado (AASHTO T-180)**

Muestra P1

Densidad Máxima: 1923 kg/m<sup>3</sup>  
 Humedad Optima: 9.0%

- **Granulometría (AASHTO T-88)**

Muestra P1 , Base Granular

Malla Nº	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido	Porcentaje Ret. Acumulado	Porcentaje Pasando	Especif./Grad.B CR-77
5.08cm	-	-	-	100	-
3.81cm	98.0	0.74	0.74	99	100
2.54cm	975.7	7.34	8.08	92	70-100
1.9 cm	757.0	5.69	13.77	86	60-90
0.95cm	2532.0	19.04	32.81	67	45-75
4	1773.0	13.33	46.14	54	35-60
10	1752.9	13.18	59.32	41	25-50
40	2310.4	17.37	76.69	23	10-30
200	1548.3	11.64	88.33	12	5-15

- **Límites de Atterberg (AASHTO T-89 T-90)**

Muestra P1 - NP (no plástico)

Muestra P 15 - NP (no plástico)

- **Índice de Relación de Soporte de California (CBR) (AASHTO T 193)**

Muestra P1 A

CBR al 95% de compactación: 83

Contenido de humedad: 9.6%

- **Abrasión en Máquina de los Angeles**

Muestra P1

Tipo de Abrasión

Porcentaje de Desgaste

B

44.2

## 5. Capa Asfáltica

Se realizaron ensayos a la mezcla asfáltica, al agregado y al asfalto. Los resultados obtenidos se resumen a continuación:

### - Espesores (ver ubicación de las perforación en el Anexo A)

Perforación N°	Espesor en cm
P 1	13.0
P 4	12.0
P 5	13.5
P 8	13.0
P 9	14.5
P 11	14.5
P 12	14.5
P 15	12.0

### - Contenido de Asfalto (AASHTO T-164)

Muestra N°	Porcentaje de asfalto
P15, capa superior	4.2
P15, capa inferior	5.6

### - Contenido de Ceniza (AASHTO T-11)

Muestra N°	Porcentaje de ceniza
P15, capa superior	0.28
P15, capa inferior	0.41

- **Contenido de Agua (AASHTO T-55)**

Muestra N°	Porcentaje de agua
P15, capa superior	0.2
P15, capa inferior	0.2

- **Graduación de la Extracción**

Muestra P15 Capa Inferior		Muestra P15 Capa Superior	
Malla	% Pasando	Malla	% Pasando
11.90cm	100	1.9cm	100
1.27cm	99	1.27cm	100
0.95cm	74	0.95cm	92
4	42	4	63
8	30	8	42
30	17	30	21
50	13	50	15
100	9	100	11
200	7	200	8

- **Resistencia al Flujo Plástico (Método Marshall, especímenes remoldeados en laboratorio) (AASHTO T-245)**

**Muestra P15 , capa superior**

Especimen N°	Gbs Máxima Teórica	Gbs Pastillas	Porcentaje Vacíos	Estabilidad (kg)	Estabilidad Corregida kg (*)	Flujo 1/100cm
1	2.45	2.16	11.8	1296	1348	36
2	2.45	2.18	11.4	1500	1560	36
Promedio	2.45	2.17	11.4	1398	1454	36

(\*) Corrección por volumen de la mezcla

**Muestra P15 , capa inferior**

Especimen N°	Gbs Máxima Teórica	Gbs Pastillas	Porcentaje Vacíos	Estabilidad kg	Estabilidad Corregida kg (*)	Flujo 1/100 cm <sup>2</sup>
1	2.40	2.14	10.8	1706	1775	15
2	2.40	2.16	10.0	1800	1872	13
3	2.40	2.12	11.7	1613	1613	15
Promedio	2.40	2.12	10.8	1706	1753	14

- **Resistencia Retenida (Especímenes remoldeadas en laboratorio) (AASHTO T-165)**

**Muestra P15 , capa superior**

Especímen	Gbs	Grupo	kg
1	2.05	Aire	6758.6
2	2.06	Aire	7356.3
3	2.06	Aire	7218.4
4	2.05	Agua	4781.6
5	2.07	Agua	4597.7
6	2.09	Agua	4459.8

Promedio de resistencia en agua: 4612.9 kg  
 Promedio de resistencia en aire: 7247.8 kg  
 Resistencia retenida: 65%

Especímen	Gbs	Grupo	kg
1	2.14	Aire	6804.6
2	2.14	Aire	6436.8
3	2.16	Aire	7218.4
4	2.17	Agua	5287.4
5	2.15	Agua	4413.8
6	2.12	Agua	5655.2

Promedio de resistencia en agua: 5118.6 kg  
 Promedio de resistencia en aire: 6712.6 kg  
 Resistencia retenida: 76%

- **Densidad Máxima y Porcentaje de Vacíos del Concreto Asfáltico (a partir de núcleos extraídos utilizando el método sumergido) (AAHTO T-269)**

Identificación Muestra	Gbs	Porcentaje Vacíos
P 1	2.043	16.61
P4 A	1.992	18.69
P4 B	2.121	13.43
P5 A	2.009	18.00
P5 B	2.096	13.43
P8	2.013	17.84
P9	2.055	16.12
P11	2.083	14.98
P12	2.120	13.47
P15	2.075	15.31

## 6. Deflectometría

Se realizaron ensayos con Viga Benkelman con el propósito de medir la respuesta estructural del pavimento ante una carga de 8050 kg en el eje trasero. Los resultados de este ensayo se presentan a continuación:

Identificación de Prueba	Lectura Viga mm x 10 <sup>2</sup>	Temperatura °C Capa Rodamiento	Lectura Corregida Temperatura mm x 10 <sup>3</sup>	Identificación de Llanta
P 1	79	28.7	69	Izquierda
P 2	91	27.7	79	Derecha
P 3	94	27.0	82	Izquierda
P 4	109	30.0	91	Izquierda
P 5	147	29.3	123	Izquierda
P 6	117	28.3	100	Derecha
P 7	97	26.7	85	Derecha
P 8	81	27.0	72	Izquierda
P 9	94	28.7	80	Izquierda
P 10	97	26.7	86	Izquierda
P 11	91	27.5	79	Derecha
P 12	112	29.7	94	Derecha
P 13	71	31.3	60	Izquierda
P 14	94	31.0	77	Derecha
P 15	132	31.0	107	Izquierda
P 16	127	30.3	104	Derecha

Promedio 87

Desv. Std. 6

## 7. Inspección Visual

- De las observaciones realizadas cabe destacar lo siguiente:
- Se observa una mezcla asfáltica de apariencia abierta, condición que se corrobora con los datos de laboratorio.
- En algunos puntos de la plataforma se observa desprendimiento superficial de agregados.
- El acabado superficial, desde el punto de vista geométrico y de bombeos, debe revisarse con instrumentación de alta precisión, para garantizar un eficiente funcionamiento del drenaje superficial.
- En el punto de perforación P15 se detectó agua a 34 cm de profundidad, lo cual sugiere la necesidad de poner a funcionar sub-drenajes en esta zona.
- El drenaje al sur de la Plataforma Remota requiere reconstrucción y mantenimiento periódico.

## 8. Comentarios Respecto a los Resultados de Laboratorio

Los siguientes comentarios, en los aspectos que corresponda, están referidos a las especificaciones indicadas en el documento: "Términos de Referencia, Licitación Pública # 8-92, Construcción de Plataforma Remota para la Aviación Comercial, Aeropuerto Internacional Juan Santamaria".

En primer término cabe destacar que se presenta un cambio con respecto a la estructura del pavimento especificada originalmente que consistía en 15 cm de concreto asfáltico, 25 cm de base estabilizada y 35 cm de sub-base, colocada sobre una sub-rasante compactada.

### - La Sub-Rasante

La muestra analizada dió una valor de índice plástico de 20.1 con un límite líquido de 51.6, lo que implica que se trata de un suelo de mediana plasticidad con un valor de soporte CBR de 5.0 (al 95% de compactación).

### - **Sub-Base Granular**

Respecto a los parámetros más significativos se obtuvieron los siguientes resultados:

- Espesores medidos: 23.0 y 25.5 cm
- Valor de soporte CBR = 63 (al 95 % de compactación)
- Densidad en sitio: 89 y 77%
- Material pasando la malla N° 4 = 52 %
- Material pasando la malla N° 200 = 10 %
- No presenta plasticidad

Cabe señalar que originalmente las especificaciones establecían los siguientes parámetros:

- Espesor: 35 cm.
- Compactación: 100% en el 95% de los ensayos
- Colocar en capas de menos de 20 cms.

### - **Base Granular**

Respecto a los parámetros más significativos se obtuvieron los siguientes resultados:

- Espesores medidos: 22.0 y 24.0 cm
- Valor de soporte CBR: 83 (al 95 % de compactación)
- Densidad en sitio: 93% y 89%
- Material pasando la malla N° 4: 54% y 62% ( 2 muestras)
- Material pasando la malla N° 200: 12% y 19% (2 muestras)
- Abrasión Los Angeles = 44.2 (abrasión tipo B)

El pliego de especificaciones antes señalado, indica una base estabilizada con las siguientes características:

- Base estabilizada con cemento.
- Resistencia promedio: 50 kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia mínima: 40 kg/cm<sup>2</sup>.
- Espesor: 25cm.

Dentro de los documentos disponibles para hacer este informe, no se cuenta con la información técnica que justifique estos cambios en la estructura del pavimento (sub-base y base). No es posible por lo tanto, contrastar los resultados de laboratorio con las especificaciones técnicas bajo la cual se construyó la base granular.

### - **Concreto Asfáltico**

En el croquis de ubicación de las perforaciones (vera Anexo A) se indica la ubicación de los sondeos realizados.

De los ensayos realizados en laboratorio se sintetiza lo siguiente:

- Se detectaron 2 capas
- Los espesores medidos en sitio oscilan entre 12.0 y 14.5 cm con un promedio de 13.1 cm
- Contenido de asfalto: 4.2% y 5.6% (dos muestras, ver punto 8)
- Material que pasa la malla de 0.95 cm: 74% y 92% (2 muestras)
- Material que pasa la malla N° 4: 42% y 63% (2 muestras)
- Material que pasa la malla N° 200: 7% y 8% (2 muestras)
- Estabilidad y flujo muestra 1: 1454 kg y 36 1/100 cm; respectivamente
- Resistencia retenida (capa 1) : 65%
- Resistencia retenida (capa 2): 76 %
- Vacíos (núcleos extraídos): máximo = 18.69 %, mínimo = 13.43%, promedio = 15.8%

En el apartado V (ESPECIFICACIONES TECNICAS ESPECIALES) del pliego de especificaciones antes señalado, se indica que debe colocarse una mezcla cuyos agregados deben cumplir con la graduación (B) de la tabla # 401 - 1 del CR - 77. Concretamente se señala que el porcentaje de vacíos debe estar entre 3 y 5, lo que corresponde a una mezcla densa. Esto (vacíos en mezcla) difiere claramente con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

## 9. Capacidad Estructural del Pavimento

### 9.1 Número Estructural AASHTO

Un parámetro “aproximado” que permite estimar la capacidad estructural de un pavimento es el número estructural (SN) que establece el modelo AASHTO. Para efectos comparativos se hace una estimación del parámetro SN para el pavimento originalmente especificado y para el que en realidad se construyó:

(a) Pavimento original:

Espesores:

Concreto asfáltico: 12.5 cm

Base estabilizada ( $R = 50 \text{ k/cm}^3$ ): 25 cm

Sub-base: 35 cm

Para dichas capas se estiman los siguientes parámetros a:

$$a_1 = 0.38$$

$$a_2 = 0.195$$

$$a_3 = 0.115$$

$$SN_0 = 5.46 \text{ (no se consideran aspectos de drenaje).}$$

(b) Pavimento construido:

Se presenta a continuación una estimación de los valores a, considerando los datos de laboratorio y de deflectometría.

$$a_1 = 0.380$$

$$a_2 = 0.130$$

$$a_3 = 0.115$$

Espesores estimados:

$$h_1 = 12.5 \text{ cm}$$

$$h_2 = 24 \text{ cm}$$

$$h_3 = 25 \text{ cm}$$

$$SN_c = 4.30$$

La diferencia es por lo tanto:

$$SN_0 - SN_c = 1.16$$

Para el caso del pavimento originalmente especificado, por medio de la metodología AASHTO se puede estimar su capacidad a fatiga en:  $13 \times 10^6$  ejes equivalentes de 8.2 toneladas, aproximadamente. Para el pavimento construido, de acuerdo con los parámetros de SN estimados, su capacidad a fatiga es del orden de  $3.1 \times 10^6$  ejes equivalentes de 8.2 toneladas (aproximadamente). Para estimar dichos valores de capacidad a fatiga, se consideró una pérdida en el nivel de servicio (PSI) de 2.0 y un módulo resiliente de  $435 \text{ kg/cm}^2$ .

Estos valores de capacidad a fatiga, aunque aproximados, permiten visualizar el orden de magnitud, de la diferencia en capacidad estructural de ambos pavimentos.

## 9.2 Análisis de Esfuerzos y Deformaciones.

Para evaluar el comportamiento del pavimento, modelado este como estructura multicapa elástica, se aplicó el modelo desarrollado en la Universidad de California en Berkeley denominado ELSYMS.

Para calcular la respuesta del pavimento ante diferentes sollicitaciones se procedió de la siguiente forma:

- i) Con base en los ensayos defletoométricos y de laboratorio se hizo un "retro - cálculo" de los módulos de deformación de las diferentes capas del pavimento y de la sub-rasante. Estos cálculos se realizaron bajo las condiciones de saturación que mostraban los materiales al momento de pasar la viga Benkelman, y teniendo además en cuenta la temperatura de la capa asfáltica.

- ii) Bajo dichas condiciones los parámetros obtenidos de las capas del pavimento son:

	<b>Coef. de Poisson</b>	<b>Módulo Elástico (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Capa asfáltica:</b>	0.30	141000
<b>Base</b>	0.40	1410
<b>Sub-base</b>	0.40	1060
<b>Sub-rasante</b>	0.45	423

Para las condiciones de temperatura y saturación al momento del ensayo deflectométrico, se obtiene una deflexión calculada de 0.89 mm, valor similar a la deflexión medida en sitio de 0.94 mm (valor promedio). Se excluye de este promedio las deflexiones medidas en los puntos P5, P15 y P16, pues se consideran valores extremos altos, que posiblemente están asociados con aspectos puntuales o localizados que se presentan en dichos puntos.

El hecho de que la deflexión calculada sea ligeramente menor a la deflexión medida, obedece fundamentalmente a que los módulos de deformación reales (condición de invierno y temperatura promedio del pavimento de 30° C) de la estructura del pavimento son ligeramente inferiores a los calculados teóricamente.

Para hacer el análisis esfuerzo-deformación se dividió el pavimento en 5 capas. La sub-base se dividió en 2 capas con el propósito de simular de mejor manera el efecto de la relación de esfuerzos sub-base/sub-rasante en la distribución de esfuerzos y deformaciones.

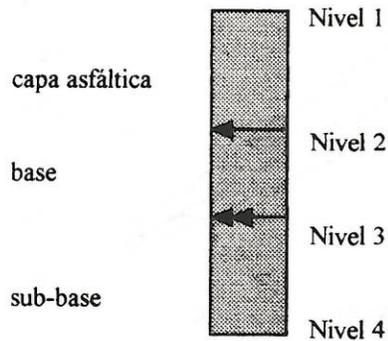
En las tablas resumen (Ver Tablas N°1 - N°3 inclusive) se presentan los resultados obtenidos por teoría elástica, aplicando una sola carga, que representa el caso menos crítico de sollicitación de una aeronave.

Se aplicó el siguiente espectro de cargas y de presiones de inflado.

<b>Carga aplicada (kg)</b>	<b>Presión de inflado (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
2280	4.93
4100	7.04
6835	7.04
9110	8.80
13670	10.56
18220	12.33

Con base en los parámetros anteriores se obtuvieron los valores de esfuerzo y deformación en cada una de las capas del pavimento.

En el croquis siguiente se ubican los puntos donde se evaluaron los esfuerzos y las deformaciones.



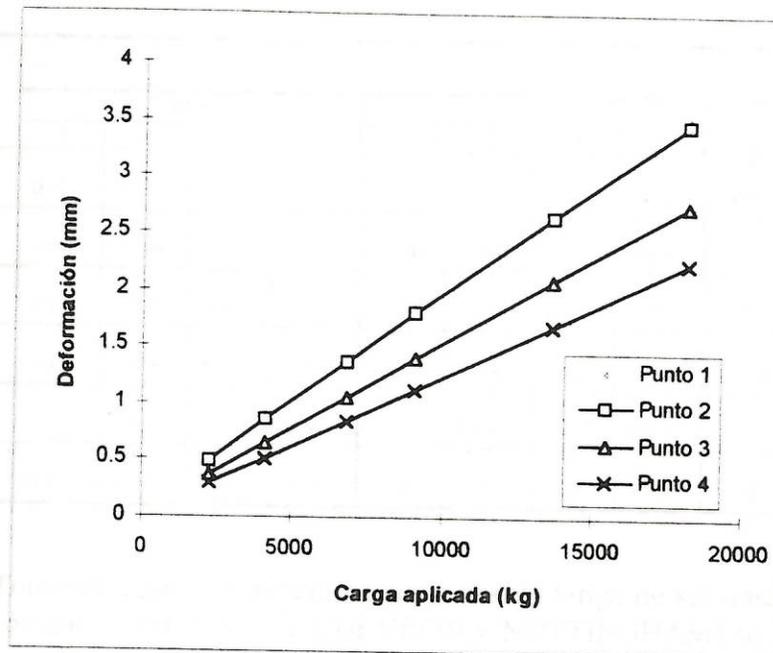
El resumen de resultados se presenta en las tablas siguientes:

**Tabla N° 1: Relación carga aplicada - deformación en el punto 1, 2, 3 y 4.**

Deformación (mm)

Carga aplicada (kg)	Deformación (mm) 1	Deformación (mm) 2	Deformación (mm) 3	Deformación (mm) 4
2280	0.51	0.49	0.36	0.29
4100	0.89	0.86	0.64	0.51
6835	1.39	1.36	1.05	0.84
9110	1.84	1.80	1.40	1.12
13670	2.67	2.64	2.08	1.68
18220	3.51	3.45	2.74	2.23

A continuación se presentan los datos de la Tabla N° 1 en forma gráfica



**Tabla N° 2: Esfuerzos principales en función de la carga aplicada**

Carga (kg)	ESFUERZOS PRINCIPALES (kg/cm <sup>2</sup> )											
	PS1				PS2				PS3			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2280	-4.93	5.94	0.15	0.16	-8.94	5.94	0.15	0.16	-8.94	-2.30	-0.38	-0.24
4100	-6.04	9.44	0.26	0.28	-14.01	9.44	0.26	0.28	-14.01	-3.10	-0.68	-0.39
6835	-7.04	11.41	0.40	0.46	-17.18	11.41	0.40	0.46	-17.18	-4.10	-1.06	-0.52
9110	-8.80	14.51	0.52	0.61	-22.04	14.51	0.52	0.61	-22.04	-5.38	-1.18	-0.77
13670	-10.56	18.45	0.74	0.90	-28.66	18.45	0.74	0.90	-28.66	-6.70	-2.01	-1.02
18220	-12.32	22.11	0.95	1.18	-35.00	22.11	0.95	1.18	-35.00	-1.39	-2.61	-0.13

**Tabla N° 3: Deformaciones unitarias principales en función de la carga aplicada**

Carga (kg)												
	PE1				PE2				PE3			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>2280</b>	0.031	0.325	0.172	0.140	-0.339	0.325	0.172	0.140	-0.339	-0.352	-0.628	-0.246
<b>4100</b>	0.098	0.518	0.251	0.251	-0.548	0.518	0.303	0.251	-0.548	-0.566	-0.978	-0.441
<b>6835</b>	0.233	0.632	0.411	0.411	-0.706	0.632	0.470	0.411	-0.706	-0.705	-1.29	-0.722
<b>9110</b>	0.314	0.806	0.546	0.546	-0.908	0.806	0.620	0.546	-0.908	-0.902	-1.85	-0.959
<b>13670</b>	0.471	1.03	0.804	0.804	-1.20	1.03	0.887	0.804	-1.20	-1.17	-2.39	-1.41
<b>18220</b>	0.615	1.24	1.06	1.06	-1.48	1.24	1.15	1.06	-1.48	-1.42	-3.57	-1.86

Tomando como referencia tres criterios de fatiga de sub-rasante por deformación vertical (Shell, MS-1 de CHEVRON y NOTTINGHAM) se puede establecer que para valores de deformación del orden de  $2 \times 10^{-3}$  a  $4 \times 10^{-3}$ , dicha capa prácticamente no tiene capacidad a fatiga.

En el caso del concreto asfáltico, aunque el problema es más complejo, ya que la capacidad a fatiga se ve afectada por los cambios de temperatura y por la variación de las características ecológicas de la mezcla a largo plazo (oxidación), así como por su módulo dinámico, se establece que en el rango de deformación unitaria a tracción del orden de  $10^{-3}$  a  $3 \times 10^{-3}$ , la capacidad a fatiga de la capa asfáltica es mínima.

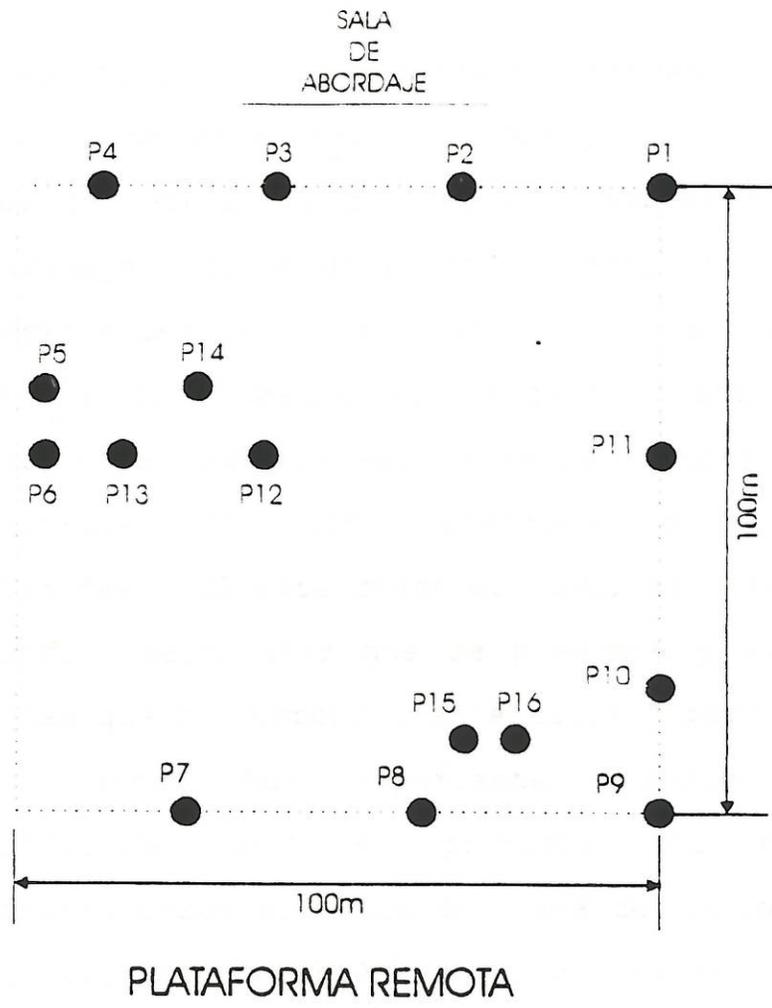
Conviene aclarar que los valores de esfuerzo-deformación obtenidos, consideran la aplicación de una sola carga y el valor máximo de carga aplicado fue de 18220kg.. En el caso de una aeronave tipo Boeing 747 cuyo tren de aterrizaje está compuesto por 16 ruedas principales, con un peso de 362880 kg (lo que implica una carga de 24360 kg por rueda con el 95% del peso soportado por las patas principales), la impronta efectiva o bulbo de presiones de las llantas superponen sus valores de esfuerzo, por lo que, de acuerdo con este modelo de análisis (multicapa-elástico), las deformaciones y los esfuerzos inducidos por esta aeronave serían mayores a los calculados para la carga máxima de 18220 kg (una sola rueda).

## 10. Comentarios Finales

1. Se observa una importante diferencia en términos de capacidad estructural entre el pavimento originalmente especificado y el pavimento construido, en razón del cambio de base estabilizada con cemento a base granular y la disminución en el espesor de la sub-base.
2. También se observa el cambio de una mezcla densa a una mezcla abierta. De la información disponible no se puede deducir la justificación técnica de este cambio.
3. En uno de los sondeos se detectó el nivel de agua a 38 cm de profundidad (sondeo P 15), por lo tanto se hace necesario abatir eficientemente estas aguas por medio de sub-drenajes.
4. Del análisis de esfuerzo-deformación se concluye que conviene reforzar estructuralmente el pavimento para que este sea utilizado por cualquiera de las aeronaves que aterrizan en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.
5. Para el diseño del refuerzo estructural del pavimento debe tenerse en cuenta la condición de vacíos de la capa asfáltica existente, especialmente en lo relativo a la infiltración y drenaje de las aguas a nivel de esta capa.
6. Debe también tenerse presente que el acabado de la capa de refuerzo que se coloque debe garantizar un eficiente sistema de drenaje superficial.

**ANEXO A**  
**CROQUIS DE UBICACION DE LOS SONDES**

# CROQUIS DE UBICACION DE SONDEOS



5- ANOTACIONES FINALES RELATIVAS AL DISEÑO Y  
ESPECIFICACIONES ESPECIALES

- a- Los estudios de campo mostraron grandes dispersiones en términos de espesores, calidad y tipo de materiales, nivel de deterioro, calidad de subrasante, condiciones de drenaje y ancho de sección. Esta "dispersión" debe tenerse presente en la etapa de construcción, ya que es factible que durante el proceso constructivo surjan condiciones (materiales, espesores, tuberías, etc.) no detectadas en los muestreos y auscultaciones realizadas. Si este fuese el caso, se debe analizar la situación particular que se presente y establecer las medidas que correspondan ante estos "imprevistos".
- b- Otro factor muy importante durante el proceso constructivo será el problema del tránsito; no solamente desde el punto de vista del congestionamiento vehicular, sino también en lo pertinente a la seguridad de los usuarios.
- c- Las consideraciones o premisas básicas del diseño suponen condiciones como las siguientes:
- No se presentan sobre-esfuerzos por presión de inflado o sobrecarga de camiones.
  - Los sistemas de drenaje (superficial, lateral y profundo), funcionan adecuadamente.
  - La vía tendrá el mantenimiento requerido durante su vida útil.

- El control de calidad durante el proceso constructivo garantizará que se alcancen satisfactoriamente las especificaciones de diseño.
- d- La conformación de bombeos y peraltes se hará a nivel de la base granular. Ni la base asfáltica ni la capa de rodadura se utilizarán para corregir niveles para lograr la conformación de la superficie terminada.
- e- El ligante asfáltico debe mantenerse bajo un riguroso proceso de control de calidad, al menos en los siguientes aspectos (además de todas las restantes especificaciones del CR-77):
  - Viscosidad-penetración por medio del monograma de Hevkelom.
  - Temperatura de mezclado y de colocación de la mezcla.
  - Envejecimiento en película delgada.
  - Quemado del asfalto en planta.
  - Afinidad agregado - ligante. Debe cumplirse que la asíntota, en la curva resistente retenida - intemperismo, sea mayor a 75 %.
- f- El proceso de producción y colocación de la mezcla asfáltica debe cumplir con los siguientes requerimientos:
  - Debe garantizarse que en el proceso de producción de la mezcla el asfalto no sobrepase la temperatura de mezclado especificada para el ligante.

- La temperatura de mezclado debe ser definida en laboratorio y ajustada durante el desarrollo del proyecto según cambien las características del asfalto.
- El diseño de mezcla debe repetirse varias veces (según la dispersión que presente), de modo que se conozca el rango de variación más probable de los parámetros del ensaye Marshall como criterio para definir la mezcla óptima.
- En la colocación de la mezcla asfáltica debe cumplirse rigurosamente con el porcentaje de vacíos y con la conformación superficial (bombeos). No se permitirán variaciones de más de 5 mm, tanto longitudinal como transversalmente, cuando estos se comprueben con una regla de 3 m. Además, no se permitirá ningún tipo de deformación que cause enpozamiento o canalización del agua.
- El agregado grueso debe tener un coeficiente de desgaste de Los Angeles (LA) menor a 30. Debe provenir de quebrador, con un 75 % de partículas con 2 o más caras fracturadas.
- La variación admisible (con respecto a lo especificado) del espesor de la capa terminada será menor a 7mm.

- El agregado fino debe provenir de quebrador. Debe tener un coeficiente de desgaste LA menor a 30% y debe ser no-plástico (NP), con un coeficiente de equivalente de arena mayor a 40%.
- La mezcla asfáltica será graduación B, excepto para el recubrimiento del hormigón compactado con rodillo (HCCR) que será graduación C (CR-77).
- La junta entre el HCCR y el borde interior y exterior de esta ampliación (gaveta) debe compactarse y sellarse cuidadosamente, de modo que no se generen fisuras, grietas o deformaciones longitudinales.
- El mantenimiento preventivo y periódico es absolutamente necesario para lograr un adecuado comportamiento ("performance") de la estructura. Adicionalmente a este mantenimiento debe darse un seguimiento de auscultación (visual y con ensayos no-destructivos), evaluar el modelo de deterioro del pavimento y corregir de manera preventiva manifestaciones tempranas de deterioro.

## 6- SUMARIO DE CANTIDADES Y PRESUPUESTO

En la tabla siguiente se muestra el sumario de cantidades y presupuesto del proyecto.

Aunque el informe recomienda la ampliación de puentes, no se incluye la estimación de costos porque está supeditada a la solución que el Ministerio de Obras Pública y Transportes estime pertinente.

## 5- ANOTACIONES FINALES RELATIVAS AL DISEÑO Y ESPECIFICACIONES ESPECIALES

- a- Los estudios de campo mostraron grandes dispersiones en términos de espesores, calidad y tipo de materiales, nivel de deterioro, calidad de subrasante, condiciones de drenaje y ancho de sección. Esta dispersión debe tenerse presente en la etapa de construcción, ya que es factible que durante el proceso constructivo surjan condiciones (materiales, espesores, tuberías, etc.) no detectadas en los muestreos y auscultaciones realizadas. Si este fuese el caso, se debe analizar la situación particular que se presente y establecer las medidas que correspondan ante estos "imprevistos".
- b- En este proyecto se requiere hacer bacheo de reparación. Este trabajo debe hacerse correctamente, incluyendo la identificación de las áreas a "sanear"; caso contrario se corre el riesgo de reflejo prematuro de grietas en estos puntos. Los lineamientos para realizar estos trabajos se indican en el apartado correspondiente del informe.
- c- Los sub-drenajes a construir deben ubicarse correctamente a fin de abatir las aguas freáticas y aguas "colgadas" que ocasionan problemas al pavimento (ver Fig. 4.4 en página 33).

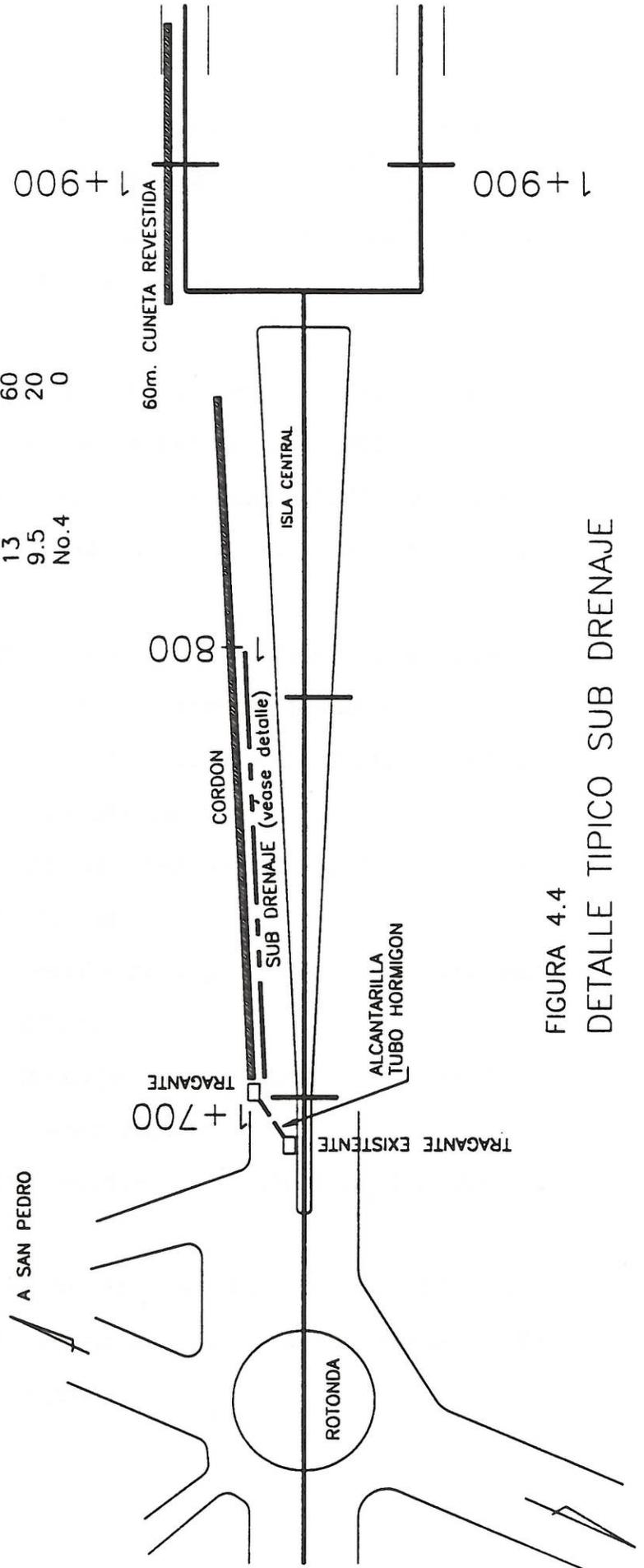
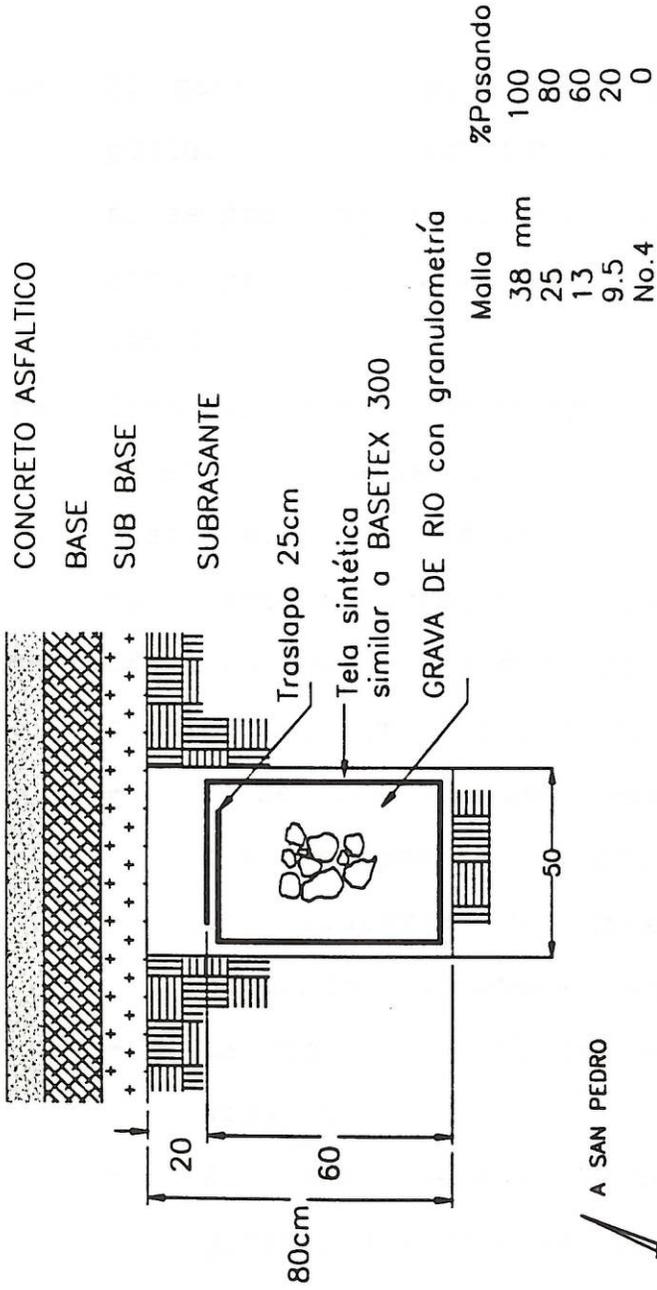


FIGURA 4.4  
DETALLE TIPICO SUB DRENAJE

- d- Conviene estudiar la curva densidad vs energía de compactación de la base con el propósito de verificar que al 100 % del Próctor Modificado (PM) se alcance una estabilidad volumétrica satisfactoria.
  
- e- El material de base debe inspeccionarse cuidadosamente, posterior a la remoción de la carpeta, para verificar que no se presenten problemas exceso de plasticidad o alguna otra particularidad especial (e.g.; exceso de sobre-tamaño).
  
- f- Otro factor muy importante durante el proceso constructivo es el problema del tránsito; no solamente desde el punto de vista del congestionamiento vehicular, sino también en lo pertinente a la seguridad de los usuarios.
  
- g- Las consideraciones o premisas básicas del diseño suponen condiciones como las siguientes:
  - No se presentan sobre-esfuerzos por presión de inflado o sobrecarga de camiones.
  - Los sistemas de drenaje (superficial, lateral y profundo), funcionan adecuadamente.
  - La vía tendrá el mantenimiento requerido durante su vida útil.
  - El control de calidad durante el proceso constructivo garantizará que se alcancen satisfactoriamente las especificaciones de diseño.

- h- En los tramos donde se debe remover la carpeta, la conformación de bombeos se hará a nivel de la base granular. En este caso ni la base asfáltica ni la capa de rodadura se utilizarán para corregir niveles con el objeto de lograr la conformación de la superficie terminada.
- i- En el tramo donde se recomienda colocar sobrecapa asfáltica, se deben conformar los bombeos a nivel de la primera capa. La capa final de rodadura debe ser de espesor constante y no será utilizada para corregir niveles.
- j- El ligante asfáltico debe mantenerse bajo un riguroso proceso de control de calidad, al menos en los siguientes aspectos (además de todas las restantes especificaciones del CR-77):
- Viscosidad-penetración por medio del nomograma de Heukelom.
  - Temperatura de mezclado y de colocación de la mezcla.
  - Envejecimiento en película delgada.
  - Quemado de asfalto en planta.
  - Afinidad agregado - ligante. Debe cumplirse que la asíntota, en la curva resistencia retenida vs intemperismo, sea mayor a 75 %.
- k- El proceso de producción y colocación de la mezcla asfáltica debe cumplir con los siguientes requerimientos:
- Debe garantizarse que en el proceso de producción de la mezcla el asfalto no sobrepase la temperatura de mezclado especificada para el ligante.

- La temperatura de mezclado debe ser definida en laboratorio y ajustada durante el desarrollo del proyecto según cambien las características del asfalto.
- La base asfáltica debe diseñarse para un módulo resiliente no menor a 15000 kg/cm<sup>2</sup> y una estabilidad Marshall mayor a 550 kg.
- El diseño de mezcla debe repetirse varias veces (según la dispersión que presente), de modo que se conozca el rango de variación más probable de los parámetros del ensaye Marshall como criterio para definir la mezcla óptima.
- En la colocación de la mezcla asfáltica debe cumplirse rigurosamente con el porcentaje de vacíos y con la conformación superficial (bombeos). No se permitirán variaciones de más de 5 mm, tanto longitudinal como transversalmente, cuando estos se comprueben con una regla de 3 m. Además, no se permitirá ningún tipo de deformación que cause empozamiento o canalización del agua.
- El agregado grueso debe tener un coeficiente de desgaste de Los Angeles (LA) menor a 30. Debe provenir de quebrador, con un 75% de partículas con 2 o más caras facturadas.
- La variación admisible (con respecto a lo especificado) del espesor de la capa terminada será menor a 6 mm.

- El agregado fino debe provenir de quebrador. Debe tener un coeficiente de desgaste LA menor a 30 % y debe ser no-plástico (NP), con un coeficiente de equivalente de arena mayor a 40 %.
- La mezcla asfáltica será Graduación B, excepto para el recubrimiento del hormigón compactado con rodillo (CCR) que será graduación C (CR-77), esto en el caso de ampliaciones (gavetas).
- La junta entre el CCR y el borde interior y exterior de esta las ampliación (gaveta) debe compactarse y sellarse cuidadosamente, de modo que no se generen fisuras, grietas o deformaciones longitudinales.
- El mantenimiento preventivo y periódico es indispensable para lograr un adecuado comportamiento ("performance") de la estructura. Adicionalmente a este mantenimiento debe darse un seguimiento de auscultación (visual y con ensayos no-destructivos), debe evaluarse el modelo de deterioro del pavimento y corregir de manera preventiva manifestaciones prematuras de deterioro.

## 6- SUMARIO DE CANTIDADES Y PRESUPUESTO

En la tabla siguiente se muestra el sumario de cantidades y presupuesto del proyecto.

Aunque el informe recomienda la ampliación de puentes, no se incluye la estimación de costos porque está supeditada a la solución que el Ministerio de Obras Pública y Transportes estime pertinente.