



12

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

ESTUDIO DE INGENIERIA
DE MATERIALES

DICTAMEN DE CALIDAD
PARA MEZCLAS ASFALTICAS

PROYECTO
BERNARDO SOTO - GRECIA



ABRIL DE 1997

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

**ESTUDIO DE INGENIERIA
DE MATERIALES**

**DICTAMEN DE CALIDAD
PARA MEZCLAS ASFALTICAS**

**PROYECTO
BERNARDO SOTO - GRECIA**



ABRIL DE 1997

San José, 2 de mayo de 1997.

Señor
Ing. Eduardo Rojas Rodríguez,
Director General,
Dirección General de Control de Obras Públicas,
Contraloría General de la República.
S.O.

Estimado señor:

De acuerdo con los términos de nuestra contratación con su representada, remitimos a usted para su consideración, el informe final del dictamen de calidad para la mezcla asfáltica del Proyecto Bernardo Soto - Grecia.

Muy atentamente,

ORIGINAL }
FIRMADO } DR. JUAN PASTOR G.

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



INDICE GENERAL

Sección	Pag.
1- Introducción	1
2- Pruebas de laboratorio realizadas	1
2.1- Mezcla asfáltica	2
2.2- Agregados	2
3- Resultados de las pruebas de laboratorio	2
3.1- Mezcla asfáltica de acuerdo con diseño en oficio No. 95 - 961	2
3.2- Mezcla asfáltica de acuerdo con diseño en oficio No. 94 - 2457	6
4- Discusión de resultados	6
4.1- Mezcla asfáltica	6
4.1.1- Diseño de mezcla de acuerdo con 95 - 961	6
4.1.1- Estabilidad y flujo (Tabla No.1)	7
4.1.1.2- Resistencia y estabilidad retenida (Tabla No.1)	7
4.1.1.3- Relación de vacíos (Tabla No.1)	8
4.1.1.4- Razones de Propiedad de Servicio (RPS) y Construcción Satisfactoria (RCS)	8
4.1.1.5- Contenido de asfalto (Tabla No.1)	9
4.1.1.6- Compactación de campo y vacíos en la muestra inalterada (Tabla No.1)	10
4.1.1.7- Vacíos en el agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (Tabla No.1) ..	10
4.1.1.8- Relación polvo / asfalto (Tabla No.1)	11
4.1.2- Diseño de mezcla de acuerdo con oficio No. 94 - 2457	11
4.1.2.1- Estabilidad y flujo (Tabla No.2)	11
4.1.2.2- Resistencia y estabilidad retenida (Tabla No.2)	12
4.1.2.3- Relación de vacíos (Tabla No.2)	12
4.1.2.4- Razones de Propiedad de Servicio (RPS) y Construcción Satisfactoria (RCS)	13
4.1.2.5- Contenido de asfalto (Tabla No.2)	13
4.1.2.6- Compactación de campo y vacíos en muestra inalterada (Tabla No.2)	13
4.1.2.7- Vacíos en el agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (Tabla No.2) ..	14
4.1.2.8- Relación polvo / asfalto (Tabla No.2)	14
4.2- Agregados (granulometría)	14
4.2.1- Diseño de mezcla de acuerdo con oficio No. 95 - 961	15
4.2.2- Diseño de mezcla de acuerdo con oficio No. 94 - 2457	16
5- Correlación de resultados de laboratorio con evaluación visual de las muestras	17
5.1- Diseño de mezcla de acuerdo con oficio No. 95 - 961	17
5.1.1- Muestra No. 1 (estación 1+024)	18
5.1.2- Muestra No. 2 (estación 2+324)	18
5.1.3- Muestra No. 3 (estación 4+040)	18
5.1.4- Muestra No. 4 (estación 6+543)	18
5.2- Diseño de mezcla de acuerdo con oficio No. 94 - 2457. Muestra No.5 (estación 8+400) ..	19

6- Evaluación integral de resultados	20
6.1- Muestras según diseño de mezcla de acuerdo con oficio No. 95 - 961	20
6.2- Muestras según diseño de mezcla de acuerdo con oficio No. 94 - 2457	21
7- Recomendaciones	22
ANEXO I	
RESULTADOS DE LABORATORIO.....	24
ANEXO II	
JUSTIFICACION PARA SELECCION DEL METODO DE CALCULO DE TOLERANCIAS.....	44



INDICE DE TABLAS

Tabla	Pag.
Tabla No.1. Control de Calidad (diseño según oficio No. 95 - 961 del 29/ 4/ 95 de Vieto y Asociados S.A.)	3
Tabla No.2 Control de Calidad (diseño según oficio No. 94 - 2457 del 22/ 11/ 94 de Vieto y Asociados S.A.)	4
Tabla No.3 Vacíos en agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos con asfalto	5
Tabla No.4 Cálculo de desviaciones estandard y promedios / Datos de laboratorio	5

1

PROYECTO BERNARDO SOTO - GRECIA

DICTAMEN DE CALIDAD PARA MEZCLA ASFALTICA

1 - Introducción.

El proyecto Bernardo Soto - Grecia (licitación pública No. 148-93) consiste en dos tramos de carretera de concreto asfáltico que fueron rehabilitados utilizando los siguientes diseños de mezcla preparados por Vieto y Asociados S.A.:

A) Diseño según oficio No. 95 - 961 del 29 de abril de 1995, para la sección 0+000 a 8+200.

B) Diseño según oficio No. 94 - 2457 del 23 de enero de 1994, para la sección 8+200 a 9+200.

Los objetivos de este informe son:

A) Presentar un análisis de las pruebas experimentales realizadas por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME).

B) Realizar una evaluación del cumplimiento de los valores de diseño durante el proceso constructivo real.

Dichos objetivos están de acuerdo con las tareas que solicitó la Dirección General de Control de Obras Públicas (DGCOP) de la Contraloría General de la República (CGR) al LANAMME, por medio de los oficios No. 14978 del 17 de noviembre de 1995, No. 1693 del 13 de febrero de 1996, No. 2216 del 23 de febrero de 1996 y No. DCOP-513 del 4 de octubre de 1996.

2 - Pruebas de laboratorio realizadas.

Este informe comprende el análisis de las siguientes pruebas de laboratorio:

2-1. Mezcla asfáltica.

- * Densidad.
- * Porcentaje de compactación en sitio.
- * Vacíos en muestra inalterada.



- * Estabilidad y flujo, según diseño de mezcla Marshall.
- * Vacíos en muestras Marshall remoldeadas.
- * Gravedad específica máxima teórica.
- * Resistencia retenida.
- * Estabilidad retenida.
- * Razón de propiedad de servicio.
- * Razón de construcción satisfactoria.
- * Contenido de asfalto y ceniza.
- * Separación del agregado en la mezcla.

Nota: según oficio No. 12949, del 18 de octubre de 1996, la DGCOP solicitó la información referente a temperatura de mezcla y compactación; sin embargo, debido a que personeros del LANAMME no estuvieron presentes durante la etapa constructiva, dichos datos no se incluyen en este informe. Las únicas temperaturas asociadas con las pruebas realizadas por el LANAMME son las temperaturas de remoldeo de pastillas Marshall, indicadas en las tablas de resultados.

2-2. Agregados.

- * Granulometría después de la extracción del ligante.

3 - Resultados de las pruebas de laboratorio.

3-1. Mezcla asfáltica de acuerdo con diseño en oficio No. 95-961.

Tomadas en estaciones 1+024, 2+324, 4+040 y 6+543.

Los resultados se resumen en la Tabla No. 1. Todos los resultados de laboratorio se presentan en el Anexo I adjunto.

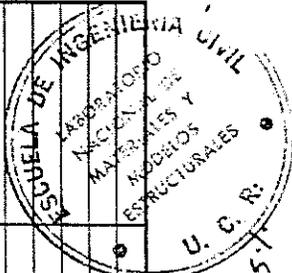
TABLA N° 1

PROYECTO: RADIAL - GRECIA
 DISEÑO SEGUN OFICIO N° 95 - 961 DEL 29 DE ABRIL DE 1995 DE VIETO Y ASOCIADOS S.A.
 CONTROL DE CALIDAD

* Tolerancia en términos ABSOLUTOS

MATERIAL	ESPECIFICACIONES TECNICAS CR-77	FORMULA DE LA MEZCLA PARA EL TRABAJO		RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS POR EL LANAMME A MEZCLAS INCORPORADAS A LA OBRA (ESTACION/ FECHA)						
		VALORES	TOLERANCIA *	1 + 024 #1	2 + 324 #2	4 + 040 #3	6 + 543 #4	% pasando	% pasando	% pasando
Mezcla asfáltica (carpata)	—	—	—	8.0	7.0 - 8.5	7.5	7.5	—	—	—
Espesor (cm)	—	7	—	2189	2169	2176	2211	—	—	—
Densidad	kg / m3	2244	—	M.D.	6.8	14.8	11.3	—	—	—
Vacios en muestra inalterada	3 - 5 %	—	X	M.D.	93.4	85.2	88.7	—	—	—
Compacción	min 95%	—	—	2084	1442	1786.4	1613.2	—	—	—
Estabilidad	700 kg min	1204	—	31	31	29	35	—	—	—
Flujo	20.3-40.6 x 10-2 cm	37	—	8.1	7.1	7.5	8	—	—	—
Vacios en la mezcla	3 - 5 %	3.8	—	74.5	77.1	75.1	77.4	—	—	—
Resistencia Retenida	60 % min	89	—	80.4	93.5	87	96.9	—	—	—
Estabilidad Retenida	75 % min	S1	—	15	21.5	16.4	21.7	—	—	—
Razón de Propiedad de Servicio (RPS)	48 % máx	30.7	—	1.9	3.3	2.2	3.6	—	—	—
Razón de construcción	8 % min	8.1	—	7.42	6.14	8.55	8.72	—	—	—
Satisfactoria (RCS)	—	6.7	—	8.01	6.57	9.35	9.55	—	—	—
Contenido asf. sobre mezcla	—	7.1	—	138 - 140°C	138 - 140°C	138 - 140°C	138 - 140°C	—	—	—
Contenido asf. sobre agregado	—	S1	—	% pasando	% pasando	% pasando	% pasando	—	—	—
Temperatura de mezclado	—	S1	—	100	100	100	100	—	—	—
Temperatura de compactación**	—	S1	—	77 - 87	84	82	87	—	—	—
Agregados Graduación B	% pasando	100	—	50 - 61	59	56	62	—	—	—
Malla 25.4 mm (1")	100	100	—	35 - 47	41	39	43	—	—	—
Malla 19.0 mm (3/4")	100	100	—	13 - 21	15	14	14	—	—	—
Malla 9.5 mm (3/8")	70 - 90	82	—	3.5 - 7.5	6.7	5.5	6.2	—	—	—
Malla N° 4	50 - 70	54	—	—	—	—	—	—	—	—
Malla N° 8	35 - 50	40	—	—	—	—	—	—	—	—
Malla N° 20	13 - 23	14	—	—	—	—	—	—	—	—
Malla N° 50	3 - 8	5.5	—	—	—	—	—	—	—	—
Malla N° 200	máx 40%	S1	—	—	—	—	—	—	—	—
Abrasión	min 50 %	S1	—	—	—	—	—	—	—	—
Caras fracturadas (1 cara)	máx 6%	S1	—	—	—	—	—	—	—	—
Índice de plasticidad	< 25%	S1	—	—	—	—	—	—	—	—
Límite líquido	—	S1	—	—	—	—	—	—	—	—
Desnudamiento	—	S1	—	—	—	—	—	—	—	—
Otros parámetros	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Relacion polvo / asfalto	0.6 - 1.3	0.82	NA	0.92	1.1	0.64	0.71	—	—	—
VMA	min 13%	17.3	NA	24	20.2	25.8	24.9	—	—	—
VFA	65 - 75%	78	NA	66.3	64.8	70.6	75.9	—	—	—

Nota: S.I. = sin información, N.A. = no aplica, M.D. = muestra disgregada
 ** Rango de temperaturas usadas por el laboratorio en el remoldeo de las pastillas.



%. compactación => 97.51, 96.6, 97.0, 98.51
 Marshall / Marshall.
 respecto a diseño.

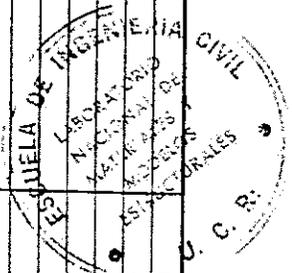
respecto a máxima teorica

PROYECTO: RADIAL - GRECIA
 DISEÑO SEGUN OFICIO N° 94 - 2457 DEL 22 DE NOVIEMBRE DE 1994 DE VIETO Y ASOCIADOS S.A.
 CONTROL DE CALIDAD

* Tolerancia en términos ABSOLUTOS

MATERIAL	ESPECIFICACIONES TECNICAS CR-77	FORMULA DE LA MEZCLA PARA EL TRABAJO		RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS POR EL LANAMME A MEZCLAS INCORPORADAS A LA OBRA (ESTACION/ FECHA)				
		VALORES	TOLERANCIA *	8 + 400	% pasando	% pasando	% pasando	% pasando
Mezcla asfáltica (carpeta)				#5				
Espesor según diseño (cm)				5.0				
Densidad	kg / m3	2228		5.7 - 6.5				
Vacios en muestra inalterada	3 - 5% min 95%			2215				
Compacción				13.3				
Estabilidad	700 kg min	1100		86.7				
Flujo	20.3-40.6 x 10-2 cm	35		1475.7				
Vacios en la mezcla	3 - 5 %	4.6		30				
Resistencia Retenida	60 %min	76		7.2				
Estabilidad Retenida	75 % min	51		76.8				
Razón de Propiedad de Servicio (RPS)	48 % máx	31.9		87.2				
Razón de construcción Satisfactoria (RCS)	8 % min	6.9		20.3				
Contenido asf. sobre mezcla		6.7	6.2 - 7.2	2.8				
Contenido asf. sobre agregado		7.2	6.7 - 7.7	7.21				
Temperatura de mezclado		SI		7.77				
Temperatura de compactación**		SI		138 - 140°C				
Agregados Graduación B	% pasando	% pasando	% pasando	% pasando	% pasando	% pasando	% pasando	% pasando
Malla 25.4 mm (1 ")	100							
Malla 19.0 mm (3/4 ")	100	100	100	100				
Malla 9.5 mm (3/8 ")	70 - 90	85	80 - 90	88				
Malla N° 4	50 - 70	58	51 - 65	60				
Malla N° 8	35 - 50	41	35 - 48	41				
Malla N° 50	13 - 23	12	13 - 19	15				
Malla N° 200	3-8	4.3	3 - 6.3	6.3				
Abrasión	máx 40 %	SI						
Caras fracturadas (1 cara)	min 50 %	SI						
Índice de plasticidad	máx 6 %	SI						
Límite líquido	< 25 %	SI						
Desdramiento		SI						
Otros parámetros								
Relación polvo / asfalto	0.6 - 1.3	0.64	N.A	0.88				
VMA	min 13%	17.8	N.A	22.9				
VFA	65 - 75%	76.1	N.A	68.5				

Nota: SI = sin información, N.A = no aplica, M.D = muestra disgregada
 ** Rango de temperaturas usadas por el laboratorio en el remolde de las pastillas



%. compactación → 99.4%
 respecto a diseño

Marshall / Marshall.

x ✓ x x x x x x x

respecto a máxima flexión.

A No. 3. Vacíos en agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos con asfalto.
Mezcla según diseño 95 - 961 del 29 de abril de 1995.

posición	1+024	2+324	4+040	6+543	promedio	desv. est.	CV.
	24,00	20,20	25,80	24,90	23,73	2,46	10,38
	66,30	64,80	70,60	75,90	69,40	4,98	7,18

El diseño de mezcla presentado en oficio No. 95-961 tiene, para el óptimo porcentaje de asfalto, de 17,3 %, junto a un VFA de 78,0 %.

LA No. 4. PROYECTO RADIAL GRECIA. Diseño 95 - 961 del 29/4/95
CALCULO DE DESVIACIONES ESTANDARD Y PROMEDIOS / DATOS LABORATORIO.

posición	1+024	2+324	4+040	6+543	promedio	desv. est.	CV.
peso (kg/m ³)	2189,0	2169,0	2176,0	2211,0	2186,3	18,5	0,8
porcentaje mtra. inalterada (%)		6,6	14,8	11,3	10,9	4,1	37,7
peso cil. (kg)	2064,0	1442,0	1766,0	1613,0	1721,3	264,1	15,3
peso (E-2 cm)	31,0	31,0	29,0	35,0	31,5	2,5	8,0
peso (%)	8,1	7,1	7,6	6,0	7,2	0,9	12,5
ret. (%)	74,5	77,1	75,1	77,4	76,0	1,4	1,9
ret. (%)	80,4	93,5	87,0	96,9	89,5	7,3	8,2
ret. (%)	15,0	21,5	16,4	21,7	18,7	3,5	18,5
ret. (%)	1,9	3,3	2,2	3,6	2,8	0,8	30,1
ret. (%)	7,4	6,1	8,6	8,7	7,7	1,2	15,5
ret. (%)	8,0	6,6	9,4	9,6	8,4	1,4	16,5
ret. 9.5 mm (3/8")	90,0	84,0	82,0	87,0	85,8	3,5	4,1
ret. No. 4	66,0	59,0	56,0	62,0	60,8	4,3	7,0
ret. No. 8	48,0	41,0	39,0	43,0	42,8	3,9	9,0
ret. No. 50	17,0	15,0	14,0	14,0	15,0	1,4	9,4
ret. No. 200	6,8	6,7	5,5	6,2	6,3	0,6	9,4



3-2. Mezcla asfáltica de acuerdo con diseño en oficio No. 94-2457.

Tomadas en estación 8+400.

Los resultados se resumen en la Tabla No. 2. Todos los resultados de laboratorio se presentan en el Anexo I.

Nota: la Tabla No. 3 presenta los resultados de vacíos en agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos con asfalto para ambas mezclas asfálticas.

4- Discusión de resultados.

Los resultados de laboratorio se analizan tanto en forma individual, comparando con especificaciones técnicas y tolerancia, como en forma grupal, por medio de promedios y desviaciones estándar (ver Tabla No. 4).

4-1. Mezcla asfáltica.

4-1-1. Diseño de mezcla de acuerdo con 95-961.

4-1-1-1. Estabilidad y flujo. (Tabla No.1)

Las estabildades obtenidas en las muestras analizadas (promedio de 1721 kg Tabla No. 4), son excesivamente altas con respecto al diseño de mezcla (1204 kg), lo cual evidencia un estado de envejecimiento del asfalto, asociado con el nivel de oxidación del ligante asfáltico, que ha sido sujeto a los procesos de mezclado, colocación, compactación y algún tiempo de operación del pavimento, además del proceso de calentamiento en el laboratorio, previo al remoldeo de pastillas.

El valor del flujo para cada una de las muestras analizadas es menor al valor de diseño, no obstante se encuentra dentro del rango de las especificaciones¹. El valor del flujo, sin embargo, tiende a acercarse al límite superior del intervalo, especialmente para la muestra No. 4.

No hay mucha dispersión en cuanto a resultados de estabilidad y flujo, dado que las desviaciones estándar son bastante pequeñas comparadas con los valores promedio.

¹ Dato obtenido del FP-92, sección No. 401, pp. 199 (no hay especificación en el CR-77).

Oxidación
por proceso
constructivo
servicio y
remoldeo

4-1-1-2. Resistencia y estabilidad retenida. (Tabla No.1)

Todos los valores de resistencia retenida superan el mínimo del 60 % que especifica el CR-77, aunque son todos inferiores al valor de diseño (89 %), mientras que el promedio de las muestras tomadas es de 76 %, (Tabla No.4). No existe mucha dispersión de resultados (coeficiente de variación de 1,9, Tabla No.4).

Todos los valores de estabilidad retenida superan el mínimo de 75 % que especifica el CR-77, llegando a valores incluso de 97 %, (muestra No.4, estación 6+543). Aunque hay mayor dispersión que para otros parámetros, es todavía bastante baja (coeficiente de variación de 8,2, Tabla No.4).

Con base en los resultados de estabilidad y resistencia retenida no se puede apreciar una tendencia al "desnudamiento" en las muestras, la mezcla analizada no muestra susceptibilidad al rompimiento de adherencia agregado - ligante con la presencia de humedad.

4-1-1-3. Relación de vacíos. (Tabla No.1)

Todos los porcentajes de vacíos obtenidos (Promedio de 7.2 %) superan el valor de vacíos de diseño (3,8%) y el límite superior de la especificación (5 %), en un factor de 2.2 %.

El exceso de vacíos tiene como consecuencia la deformación plástica² excesiva de la carretera (formación de roderas), especialmente a altas temperaturas. En las muestras analizadas existe una marcada tendencia a experimentar este tipo de falla, dado el elevado nivel de vacíos en las pastillas remoldeadas.

↳ más relacionado
con oxidación
del ligante.

comparar
contra 8.8%.

² Deformación no recuperable de un material ante la aplicación de una carga.

4-1-1-4. Razón de Propiedad de Servicio (RPS) y Razón de Construcción Satisfactoria (RCS), (Tabla No. 1).

Todos los valores de RPS son inferiores al RPS de diseño (30,7 %); sin embargo son inferiores al máximo especificado de 48 %, tanto individualmente, como para el promedio (18,7 %, Tabla No.4). El nivel de dispersión no es muy elevado (coeficiente de variación de 18,5, Tabla No.4).

La RCS no es aceptable para ninguna muestra, dado que no alcanza el valor de diseño ni el mínimo de 8,0 %, (CR-77); el promedio de todas las muestras es 2,75 %, (Tabla No.4), llegando a valores tan bajos como 1.9 %, (muestra No.1, estación 1+024). Las causas de un valor de RCS alto son: a) un nivel de oxidación elevado que tiene como consecuencia una elevada estabilidad y, b) un flujo bajo, así como un nivel de vacíos muy elevado, que eventualmente determina un estado de oxidación avanzado. En las muestras analizadas se presentan ambas situaciones, pues no sólo la estabilidad de las muestras es bastante alta, sino que también el nivel de vacíos es muy elevado. evidenciando una mezcla susceptible a la oxidación, con el consecuente deterioro de sus propiedades de resistencia a la fatiga.

generales.

4-1-1-5. Contenido de asfalto. (Tabla No.1)

Todos los porcentajes de asfalto están fuera de los límites de diseño (tolerancia), dado que las muestras No.1, 3 y 4 (estaciones 1+024, 4+040 y 6+543) exceden en más de 0,5 % el contenido óptimo de asfalto del diseño de mezcla, mientras que la muestra No.2 (Estación 2+324) se queda corta en más de 0,5 % (los valores de 0,5 % son absolutos, de acuerdo con la práctica común utilizada por el MOPT). Como tendencia típica (3 de 4 muestras), es posible apreciar un exceso de 1 a 2 % de asfalto por peso total de mezcla, con el consiguiente efecto en las demás propiedades.

Al haber un exceso de asfalto, hay un cambio en las propiedades del diseño de la mezcla, ya que la mezcla no corresponde al punto óptimo determinado por medio del diseño de mezcla. No hay garantía de obtener la estabilidad y flujo de diseño, ni el porcentaje de vacíos, ni la densidad de la mezcla de diseño. El significativo exceso de

asfalto explica la diferencia que existe entre los valores de diseño y los resultados de laboratorio de las muestras analizadas.

4-1-1-6. Compactación de campo y vacíos en la muestra inalterada. (Tabla No.1)

Los vacíos de campo fueron calculados para las muestras No. 2, 3 y 4, (estaciones 2+324, 4+040 y 6+543). Debido a la desintegración de la muestra de campo No. 1 (estación 1+024), lo cual se asocia con el alto contenido de vacíos y el grado de oxidación de la misma, ésta no pudo ser analizada.

El porcentaje de vacíos en muestra inalterada se relaciona con la calidad de la mezcla, ya que un nivel de vacíos elevado se asocia con tendencia a la formación de roderas, mientras que un nivel de vacíos bajo se relaciona con exhudación de asfalto y pérdida de adherencia llantas - pavimento. Así, es aconsejable contar con un porcentaje de vacíos en campo (muestra inalterada) de entre 3 y 5 %.

Los resultados de laboratorio de vacíos en mezcla inalterada son todos superiores al 5 %, tomando incluso valores de 14,8 % (muestra No.3, estación 4+040). De esta forma se puede apreciar una deficiencia en la mezcla, que probablemente tenga como consecuencia la formación de roderas en el corto plazo.

El porcentaje de compactación en campo permite comparar los valores de densidad en sitio y densidad de muestras remoldeadas en el laboratorio. De obtenerse un porcentaje de compactación de campo de por lo menos 95 % y de presentar la mezcla un porcentaje de asfalto similar al punto óptimo del diseño de mezcla, se podría confirmar que la mezcla en sitio presenta similares propiedades al punto óptimo del diseño de mezcla.

comparar con 8.8 %.

Los porcentajes de compactación de campo para las muestras No. 2, 3 y 4 son inferiores al mínimo aceptable de 95 %, de acuerdo con el CR-77, por lo que el nivel de compactación en campo no es el adecuado (Tabla No.1). Al darse un nivel de compactación en campo bajo, se confirma la tendencia de la mezcla a experimentar la formación de roderas, una vez que las cargas de tránsito provoquen un efecto de compactación diferencial (sobre la huella).

4-1-1-7. Vacíos en el agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos con asfalto³. (Tabla No.3)

A pesar de que no existe especificación en el CR-77 respecto a vacíos en agregado mineral, según la metodología de diseño de mezcla del método Marshall (MS-2, Instituto del Asfalto), para una mezcla con tamaño nominal de 19.0 mm, es requerido tener por lo menos un 13,0 % de vacíos en el agregado mineral (porcentaje total de vacíos disponible para ser llenado con asfalto, en el volumen total de la mezcla); lo cual se cumple en el diseño de mezcla (VMA de 17,3 %), así como en la totalidad de las muestras analizadas.

En cuanto al porcentaje de vacíos en el volumen total de la mezcla que están llenos con asfalto, el mismo método Marshall (Ref. MS-2, Instituto del Asfalto) especifica de un 65 a un 75 %, lo cual no se cumple en el diseño de mezcla (78 %), aunque se cumple en las muestras No.1 y 3 (Estaciones 1+024 y 4+040). La muestra No.2 (estación 2+324) evidencia una deficiencia parcial (64,8%), mientras que la No.4 (estación 6+543) se sale igualmente del rango (75,9%), sin que denoten una tendencia marcada a incumplir el rango recomendado para la generalidad de la mezcla.

4-1-1-8. Relación polvo / asfalto⁴. (Tabla No.1)

Según la norma FP-92, Sección No. 401, toda mezcla asfáltica tiene que tener una relación de material pasando la malla No. 200 a porcentaje de asfalto (relación polvo / asfalto) entre 0,6 y 1,3. Valores excesivamente altos tienen como consecuencia un exceso de material fino para aglutinar, con la posibilidad de no poder cubrir adecuadamente el agregado con el ligante, no logrando la debida adhesión agregado - asfalto. Valores muy bajos de determinan un eventual exceso de ligante asfáltico, que da base al fenómeno de exhudación, con el consiguiente deterioro en la calidad antiderrapante del pavimento.

³ Este parámetro no está especificado en el CR-77, sin embargo es de utilidad en la evaluación de la calidad de mezclas asfálticas y si está incluido en las especificaciones del Instituto del Asfalto.

⁴ Este parámetro no está incluido en el CR-77, sin embargo, si existen especificaciones en el FP-92. Se ha incluido con el objeto de verificar propiedades de la mezcla asfáltica que han sido analizadas por medio de otras pruebas que si están especificadas en el CR-77.

El diseño de mezcla es satisfactorio en cuanto a la razón de polvo / asfalto (0,82 %, Tabla No. 1), mientras que todas las muestras individuales cumplen la norma FP-92 (promedio de 0,84, Tabla No.4). Sin embargo, la muestra No. 3 (estación 4+040) presenta una razón de polvo / asfalto cercana al límite inferior (0,64), mientras que la muestra No. 2 (estación 2+324) tiene una razón de polvo / asfalto más elevada (1,10); de esta manera, se puede apreciar cierto nivel de dispersión, que se confirma por el coeficiente de variación relativamente alto (24,2, Tabla No. 4).

A pesar de que se nota cierta dispersión, que se atribuye básicamente a la variabilidad del porcentaje de asfalto en las muestras analizadas, no se puede apreciar ninguna deficiencia significativa en cuanto a la relación polvo / asfalto.

4-1-2. Diseño de mezcla de acuerdo con oficio No. 94-2457.

4-1-2-1. Estabilidad y flujo. (Tabla No.2)

La estabilidad de la muestra (1476 kg) es más alta que el diseño (1100 kg). El flujo (30) es más bajo que el del diseño (35). Sin embargo, tanto la estabilidad como el flujo son aceptables con base tanto en las especificaciones técnicas⁵, como por similitud con los valores óptimos de diseño.

La estabilidad tiende a ser alrededor de 50 % superior a la estabilidad de diseño, por lo que puede evidenciar algún grado de oxidación, aunque no tan avanzado como para algunas de las muestras analizadas en la Sección No. 4-1-1-1. Las causas de la oxidación en la mezcla pueden ser: a) un sobrecalentamiento de los agregados y b) temperaturas muy elevadas al producirse la mezcla en la planta, sin que se detecte la oxidación normal asociada con los procesos de mezclado, colocación, compactación, operación y calentamiento durante el remoldeo de pastillas.

4-1-2-2. Resistencia y estabilidad retenidas. (Tabla No.2)

Tanto la resistencia como la estabilidad retenidas son adecuadas, no habiendo evidencia de una tendencia a presentar un problema de "desnudamiento" en el pavimento

⁵ Las especificaciones para flujo fueron obtenidos del FP-92, sección No. 401, pp. 199 (no hay especificación en el CR-77).

nuevo. Adicionalmente, la resistencia retenida del punto óptimo del diseño de mezcla (76,6 %) es prácticamente igual a la resistencia retenida de la muestra analizada en el laboratorio (76,8 %). No hay información con respecto a la estabilidad retenida del diseño de mezcla, sin embargo, la muestra analizada es adecuada en este sentido (87,2%).

4-1-2-3. Relación de vacíos. (Tabla No.2)

Al igual que ocurre con la mezcla de la Sección 4-1-1, para la muestra No. 5 (estación 8+400) se da un exceso de vacíos en la mezcla (7,2 % de vacíos en la mezcla), saliéndose de las especificaciones técnicas (3 a 5 %) y evidenciando una posible tendencia a la deformación plástica excesiva por exceso de vacíos (formación de roderas en el pavimento por causa de deformaciones no recuperables). Adicionalmente, al existir una alta proporción de vacíos en la muestra, existe la posibilidad de que se dé un fenómeno de oxidación en la carpeta asfáltica, que tiene como consecuencia una reducción en la vida útil del pavimento con base en agrietamiento por fatiga.

OK al
comparar
con 8.8-1.

4-1-2-4. Razones de Propiedad de Servicio (RPS) y de Construcción Satisfactoria (RCS). (Tabla No.2)

La razón de propiedad de servicio (RPS) es adecuada (20,3 %) de acuerdo con las especificaciones, indicando que el nivel de flujo es adecuado para el nivel de estabilidad. Para el nivel de estabilidad de la muestra, la deformación asociada (flujo) no es muy elevada. Sin embargo, la razón de que dicho parámetro no sea muy elevado (el diseño de mezcla tiene una RPS de 31,9 %), es el hecho de que la estabilidad de la muestra es elevada en comparación con la estabilidad del diseño de mezcla.

La razón de construcción satisfactoria (RCS de 2,8%) no cumple con el requerimiento mínimo de 8 %, lo cual se relaciona con el problema de exceso de vacíos. La RCS del diseño de mezcla (6,9 %) tampoco cumple con el requerimiento mínimo del 8 %. La causa de que se presente un valor bajo de RCS puede asociarse con la oxidación de la mezcla asfáltica (causa de una estabilidad elevada), así como una proporción de vacíos excesivamente alta; de esta manera, existe la posibilidad de que la muestra

presente desde ya cierto nivel de oxidación, que incide en la resistencia de la mezcla al agrietamiento por fatiga (reducción de vida útil).

4-1-2-5. Contenido de asfalto. (Tabla No.2)

El contenido de asfalto (7,21 % por peso total de mezcla) se encuentra fuera del rango de tolerancia; sin embargo, la desviación con respecto al contenido de asfalto máximo tolerable es de 0,01 %, planteándose la posibilidad de que lo elevado del contenido de vacíos se deba a una incompatibilidad entre el diseño de mezcla y las condiciones reales del proyecto, más que a un contenido de asfalto significativamente diferente al óptimo.

4-1-2-6. Compactación de campo y vacíos en muestra inalterada. (Tabla No.2)

Existe un 86,7 % de compactación que no es satisfactorio según la norma del 95 %. Al no darse una diferencia significativa entre el porcentaje de asfalto de la muestra y el de diseño, el valor bajo del porcentaje de compactación se puede asociar con una deficiencia en el proceso de compactación durante la etapa constructiva.

El porcentaje de vacíos en muestra inalterada es muy alto (13,3 %), lo cual permite ratificar la tendencia de la mezcla muestreada a la formación de roderas, asociado a un proceso de compactación deficitario.

compara en 8.8%

4-1-2-7. Vacíos en el agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos con asfalto⁶. (Tabla No.2)

Aplicando las especificaciones de diseño de mezcla por el método Marshall del Instituto del Asfalto (MS-2), es posible apreciar como el diseño de mezcla tiene un VMA de 17,8%, que es superior al mínimo requerido de 13 % para ese tipo de mezcla.

⁶ Parámetros no especificados en el CR-77, pero de interés para la evaluación de la calidad de la mezcla asfáltica.

Igualmente, la muestra analizada en el laboratorio (VMA de 22,9%) si cumple con la norma del VMA, dado que es superior al 13 %.

En lo referente a porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA), el diseño de mezcla no cumple con el requerimiento máximo de 75 %, ya que tiene un VFA de 76,1%. La muestra analizada (No.5, estación 8+400) si tiene un VFA dentro del rango sugerido del 65 al 75%, (68,5%).

4-1-2-8. Relación polvo / asfalto⁷. (Tabla No.2)

La razón del porcentaje de agregado pasando la malla No. 200 con respecto al porcentaje de asfalto por peso total de mezcla debe, según las normas FP-92, encontrarse entre 0,6 y 1,3, para contar con asfalto suficiente para una correcta aglutinación de los agregados por parte del cemento asfáltico, sin que haya exceso de ligante (que determine exhudación en el perimetro).

En el caso del diseño de mezcla, la razón polvo / asfalto es igual a 0,64, que es apenas superior al límite inferior del rango aceptable, mientras que la muestra analizada tiene una razón polvo / asfalto de 0,88. De esta forma se puede confirmar que tanto el diseño de mezcla como la muestra analizada son satisfactorios desde el punto de vista de cantidad de asfalto para una adecuada adherencia agregado - asfalto.

4-2. Agregados (granulometría).

Para la revisión de cada caso particular de granulometría se considera inicialmente la idoneidad de la estructura del agregado con respecto a las especificaciones técnicas y posteriormente se hace la revisión de acuerdo con las tolerancias correspondientes (en el Anexo II se presenta la justificación de la selección de las tolerancias en forma absoluta como criterio de comparación con los datos de las muestras).

Las curvas granulométricas que se presentan en el CR-77 han sido determinadas empíricamente, de manera que tales estructuras de agregado permiten la optimización de las propiedades de estabilidad y durabilidad, a partir de contenidos de vacíos que no

⁷ A pesar de que no existen especificaciones en el código CR-77, esta propiedad de las mezclas asfálticas permite emitir un dictamen sobre la efectividad de la adherencia agregado - ligante asfáltico.

presentan la tendencia a la exhudación o a la formación de roderas (3 a 5 %). El incumplimiento en las especificaciones de granulometría del agregado en mezclas asfálticas tiene como consecuencia la dificultad en el diseño de mezcla de lograr un diseño óptimo que satisfaga todos los requerimientos establecidos.

La violación de los rangos de tolerancia en las curvas granulométricas tiene como consecuencia directa un cambio significativo en las propiedades de la mezcla, dado que el diseño corresponde a un material significativamente diferente al que realmente se está utilizando. Por lo tanto, una mezcla que presente cambios sustanciales en su granulometría con respecto al diseño de mezcla, presenta un impedimento para lograr una similitud de propiedades con respecto a las condiciones óptimas (diseño de mezcla). Al alterarse la granulometría de una mezcla, por incumplimiento de las tolerancias técnicas, no hay garantía de que utilizando el contenido óptimo de asfalto se logre alcanzar, ni el contenido óptimo de vacíos, ni las propiedades óptimas de estabilidad y flujo, ni el nivel de compactación requerido, ni las propiedades retenidas al condicionar la mezcla con humedad (estabilidad y resistencia retenida).

En síntesis, la variación de la estructura granulométrica del agregado de la mezcla está altamente correlacionada con la alteración de las propiedades de la mezcla, a pesar de que las restantes condiciones (contenido de asfalto y contenido de vacíos) logren reflejar las propiedades del diseño de mezcla.

Adicionalmente, un exceso de material fino (material pasando la malla No. 50, 100 y 200) está directamente relacionado con la pérdida de capacidad de resistencia a la fatiga y a la formación de roderas de la mezcla, dado que disminuye su módulo de rigidez. También, el exceso de finos determina que una mayor cantidad de asfalto sea requerida para lograr aglutinar los agregados, lo cual incrementa la demanda de asfalto, incrementando costos a la vez que deteriora la calidad de la mezcla.

4-2-1. Diseño de mezcla de acuerdo con oficio No. 95-961.

Todas las muestras cumplen con las especificaciones técnicas, ya que todas las curvas granulométricas se mantienen dentro de los rangos especificados en el CR-77 para una graduación tipo B.

Con respecto a las tolerancias en términos absolutos, únicamente las muestras No. 2 y 3 cumplen con todos los requerimientos de graduación. La muestra No. 4 presenta una pequeña deficiencia en el porcentaje de agregado pasando la malla No. 4 (62 %, mientras que la tolerancia absoluta máxima es 61 %). La muestra No. 1 presenta una graduación más fina de lo requerido, ya que los porcentajes pasando son elevados para la mayoría de las mallas.

A pesar de las deficiencias encontradas en la muestra No.1 y considerando que las curvas granulométricas cumplen con todas las especificaciones y tolerancias, no parece haber evidencia que sugiera la utilización de una graduación inadecuada.

De acuerdo con el gráfico de clasificación de mezclas asfálticas del Instituto del Asfalto⁸, el diseño de mezcla (5,5 % pasando la malla No. 200 y 40 % pasando la malla No. 8) se ubica dentro de la zona aceptable de mezclas para capas de superficie y nivelación.

De acuerdo con el gráfico de clasificación de mezclas asfálticas para pavimentación del Instituto del Asfalto (MS-2), para un porcentaje de material pasando la malla No. 200 de 6,3 % (promedio de las muestras) y un porcentaje pasando la malla No. 8 de 42,8 % (promedio de las muestras), la granulometría cae en la zona aceptable de mezclas para capas de superficie y nivelación.

4-2-2. Diseño de mezcla de acuerdo con oficio No. 94-2457.

La graduación del agregado de la muestra está dentro de los límites de tolerancia absolutos, al mismo tiempo que satisface las especificaciones para una curva tipo B (Tabla 401.1 del CR-77). Por lo tanto, no deben existir deficiencias en la mezcla asfáltica con base en la curva granulométrica.

Debe destacarse que existe una deficiencia en el diseño de mezcla, ya que se utilizó un porcentaje pasando la malla No. 50 (12 %), que incumple con las

⁸ Este criterio considera los porcentajes pasando las mallas No. 8 y No. 200, de manera que define una zona de aceptación para ambos. Dicho criterio ha sido sustituido recientemente por las curvas de graduación del FP y por los nuevos criterios SUPERPAVE (puntos de control y zona crítica), pero aún sirve como complemento del análisis de la estructura granulométrica de una mezcla. Instituto del Asfalto, Specifications and Construction Methods for Asphalt Concrete, SS-1, 1962.

especificaciones (mínimo de 13 %). La muestra analizada si presenta un porcentaje pasando la malla No. 50 (15 %) satisfactorio.

De acuerdo con el gráfico de clasificación de mezclas asfálticas del Instituto del Asfalto, el diseño de mezcla (4,3 % pasando la malla No. 200 y 41 % pasando la malla No. 8) se ubica dentro de la zona aceptable de mezclas para capas de superficie y nivelación.

De acuerdo con el gráfico de clasificación de mezclas asfálticas para pavimentación del Instituto del Asfalto (MS-2), para un porcentaje de material pasando la malla No. 200 de 6,3 % (promedio de las muestras) y un porcentaje pasando la malla No. 8 de 41,0 % (promedio de las muestras), la granulometría cae en la zona aceptable de mezclas para capas de superficie y nivelación.

5. Correlación de resultados de laboratorio con evaluación visual de las muestras.

A continuación se presenta un resumen de las condiciones encontradas en las cercanías de los puntos de donde se extrajeron muestras para ser analizadas en el laboratorio.

5-1. Diseño de mezcla de acuerdo con oficio No. 95-961.

5-1-1. Muestra No. 1 (estación 1+024).

Hay un paño colocado sobre la sección donde la muestra fue tomada originalmente, razón por la cual la evaluación visual realmente no refleja las condiciones de la zona muestreada.

La graduación de la carpeta es un tanto abierta.

El paño recientemente construido no presenta ningún tipo de falla, dado que no se han formado fisuras, ni roderas, ni hay exhudación.

5-1-2. Muestra No. 2 (estación 2+324).

La zona aledaña al punto donde se extrajo la muestra de laboratorio presenta un nivel de compactación aparentemente superior a la zona muestreada previamente (muestra No. 1).

El tramo presenta un nivel bajo de exhudación en algunas zonas. Se comienza a dar la formación de roderas, aunque todavía no son fácilmente perceptibles.

El nivel de desintegración es bajo, aunque se ha comenzado a formar un bache en las cercanías del sitio de extracción de la muestra de laboratorio.

A una distancia aproximada de 5 m del sitio de extracción, en la dirección hacia Grecia, se da un cambio aparente en la textura de la superficie del pavimento, aparentando corresponder a una mezcla de graduación más cerrada que la zona muestreada.

5-1-3. Muestra No. 3 (estación 4+040).

La mezcla aparenta tener una graduación abierta, ya que se presenta un poco gruesa.

Se ha comenzado a dar el fenómeno de exhudación, en forma leve y localizada, sobre la huella del pavimento. Adicionalmente, se ha iniciado la formación de roderas, aunque todavía en sus etapas preliminares. No se puede apreciar ninguna manifestación de desintegración de la mezcla en la carpeta, aunque hay algunos pequeños baches en las cercanías, ya tapados.

5-1-4. Muestra No. 4 (estación 6+543).

La mezcla de la carpeta en las cercanías de la extracción luce relativamente más cerrada que las restantes muestras analizadas, aparentando tener una granulometría más fina. La mezcla del espaldón es más abierta, dado que su graduación es más gruesa.

No hay formación de roderas, ni más desintegración en la carpeta que algunos pequeños agujeros en la superficie de ruedo, producto, posiblemente, de la adherencia de algunos agregados en el rodillo, durante la etapa de compactación.

Es apreciable cierto nivel de exhudación en las cercanías de la línea de centro, aunque no es apreciable en las huellas. Dicho fenómeno puede estar asociado con alguna deficiencia en el proceso de compactación, que pudo determinar un exceso de energía de compactación en el centro de la carretera, que produjera el desplazamiento de asfalto hacia la superficie.

5-2. Diseño de mezcla de acuerdo con oficio No. 94-2457. Muestra No. 5 (estación 8+400).

Al igual que ocurre con la muestra No. 4, se ha dado exhudación en el centro de la carretera. Las posibles causas de tal fenómeno de oxidación pueden ser: a) exceso de energía de compactación en el centro del proyecto y b) segregación de la mezcla al ser colocada, dado que la mezcla aparenta ser más cerrada (graduación más fina) en el centro de la carretera y aparenta tener un menor contenido de vacíos (propicio para la exhudación).

No hay desintegración de la superficie de rodadura, ni se aprecia el fenómeno de desprendimiento de agregados de la superficie por defecto constructivo (notado en la muestra No. 4). No se han formado roderas en las huellas.

El contenido promedio de vacíos en sitio es 8 % (densímetro nuclear), que corresponde a un 92 % de compactación, lo cual evidencia carencia de compactación, al no cumplir con el mínimo de 95 %. El contenido promedio de humedad para esta sección es 4,4 %.

OK, *ver* 8,8%

6 -Evaluación integral de resultados.

Debe tenerse presente que la evaluación de las mezclas asfálticas se refiere específicamente a las muestras tomadas. Los resultados, por lo tanto, reflejan valores puntuales en sitios específicos del proyecto.

6-1. Muestras según diseño de mezcla en oficio No. 95-961.

La carencia de compactación es casi generalizada en las muestras analizadas, pudiendo deberse a dos situaciones: a) carencia de energía de compactación (evidenciada por los altos porcentajes de vacíos en sitio), y b) diferencias en la naturaleza del agregado utilizado en la construcción y en el diseño de mezcla (debido a que la granulometría de los agregados está dentro de los rangos de tolerancia y aún así hay problemas con el nivel de vacíos en las pastillas remoldeadas, a pesar de que el contenido de vacíos óptimo en el diseño de mezcla es satisfactorio).

✓
no hay
certeza
total.

Las altas estabilidades de las muestras podrían deberse a un nivel de oxidación anormal en el asfalto, que puede determinar una reducción en la vida útil por resistencia a la fatiga, como efecto de contar con una mezcla de alta rigidez. Sin embargo, no hay evidencia concluyente en este respecto.

✓

Todas las muestras analizadas tienen exceso de asfalto, que pudo influir en la compactación inadecuada de la carpeta, a la vez que explica el fenómeno de exhudación. Posiblemente al haber exceso de asfalto, cuando se intentó compactar la mezcla, el rodillo tendió a desplazar la mezcla en forma lateral. Al colocar y compactar los dos diferentes sentidos por separado, dada la tendencia de la mezcla a desplazarse en forma lateral, se acumuló mezcla en el centro de la carretera y se aplicó energía de compactación adicional en dicha zona, produciendo el fenómeno de exhudación, a pesar de que el nivel de compactación en cada uno de los carriles era bajo.

✓

Con base en las pruebas realizadas, se puede concluir que la carretera experimentará una reducción en su vida útil, experimentando falla estructural en un plazo

menor al estimado, dado que hay tendencia a la formación de roderas y la carpeta tiene una alta rigidez (tendencia a la falla por fatiga).

Adicionalmente, se podrían dar desintegraciones de carpeta localizadas, dado el nivel eventual de oxidación del ligante, a pesar de que las muestras no manifiestan ninguna tendencia al desnudamiento.

per exceso de
asfalto e incumplimientos
en graduación.

no hay parámetros de
comparación.

6-2. Muestra según diseño de mezcla en oficio No. 94-2457.

La muestra correspondiente a este diseño de mezcla refleja las mismas deficiencias que las muestras analizadas en la Sección 6-1.

La muestra analizada evidencia una carencia de compactación, pudiendo deberse a dos situaciones:

a) Carencia de energía de compactación (evidenciada por el alto porcentaje de vacíos en sitio). ✓

b) Diferencias en la naturaleza del agregado utilizado en la construcción y en el diseño de mezcla (debido a que la granulometría de los agregados está dentro de los rangos de tolerancia y aún así hay problemas con el nivel de vacíos en las pastillas remoldeadas, a pesar de que el contenido de vacíos óptimo en el diseño de mezcla es satisfactorio). ✓

La alta estabilidad de la muestra se puede deber a un nivel de oxidación anormal en el asfalto, que puede determinar una reducción en la vida útil por resistencia a la fatiga, como efecto de contar con una mezcla de alta rigidez. Sin embargo, debido a que las pastillas remoldeadas corresponden a una mezcla que ya experimentó la oxidación propia de del mezclado, construcción y servicio, los resultados de la estabilidad en la pastilla remoldeada no son concluyentes.

Al contrario de lo que ocurre con las muestras analizadas en la sección anterior, el exceso de asfalto es prácticamente despreciable (7,21 % mientras que el máximo tolerable es 7,20 %).

Con base en las pruebas realizadas, se puede concluir que la carretera experimentará una reducción en su vida útil, experimentando falla estructural en un plazo

menor al estimado, dado que hay tendencia a la formación de roderas y la carpeta tiene una alta rigidez (tendencia a la falla por fatiga). Adicionalmente, se podrían dar desintegraciones de carpeta localizadas, dado el eventual nivel de oxidación del ligante, a pesar de que las muestras no manifiestan ninguna tendencia al desnudamiento.

no hay parámetros de comparación.

7 - Recomendaciones.

* Contar con un proceso de monitoreo continuo del nivel de vacíos en sitio, verificando que el nivel de compactación en sitio sea igual o superior al 95 %. Dicho monitoreo puede ser realizado fácilmente por medio de un densímetro nuclear y debe ser tanto a nivel de carpeta como a nivel de la construcción de la estructura preliminar (compactación de la sub-rasante, especialmente en caso de relleno, compactación de la sub-base y compactación de la base).

* Incluir los criterios de vacíos llenos con asfalto (VFA) y vacíos en el agregado mineral (VMA), con el propósito de lograr una mayor confianza en la resistencia a la formación de roderas y a la exhudación de las mezclas.

* Aumentar a 75 % el valor especificado de resistencia retenida, con la intención de garantizar una adecuada resistencia al desnudamiento.

* Incorporar mayor cantidad de pruebas para agregados, previo al diseño de mezcla, incluyendo las pruebas de equivalente de arena, caras fracturadas, elongación y disgregabilidad.

* Para el caso en que fuese necesario utilizar relleno mineral como aditivo, debería probarse su eficacia en el laboratorio, previo a su aplicación.

* Cuando se utilice un agente anti-desnudamiento, debe considerarse su aporte a la granulometría de la estructura del agregado, teniendo especial cuidado en la no excedencia del porcentaje de material pasando la malla No. 200.

* Incluir flujo y relación polvo-asfalto dentro de las especificaciones.



ANEXO I
RESULTADOS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
 LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
 TABLA A - 1

Vacios en Sitio

Proyecto: Radial Grecia.

W. SECO (g)	W. S.S.S. (g)	W. SUML. (g)	VOLUMEN (cm ³)	GRAV. ESPEC.	Gbs. Max. teo.	VACIOS %	MUESTRA
1285.4	1340.9	700.0	641	2.006	2.355	14.84	= 3. Carpeta. 4 - 040
1473.8	1502.4	796.0	706	2.086	2.353	11.33	= 4. Carpeta. 5 - 543
1438.5	1480.2	785.2	695	2.070	2.388	13.33	= 5. Carpeta. 3 - 400

NOTA: Los vacios en sitio de las muestras N°1 y N°2 no se realizaron, debido a que la muestra estaba disgregada.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
VACIOS EN SITIO
TABLA A - 2.

PROYECTO: Radial Grecia
 FECHA: 12/11/96
 ESPESOR: 7.5 cm

MUESTRA: # 2
 ESTACION: 2 + 324
 MUESTREO: Noviembre de 1996.

RESULTADOS DE LABORATORIO

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA

Peso del vidrio	461.1	461.1
Peso del recipiente	1162.3	1162.5
Peso del recipiente + material	2683.7	2655.7
Peso total	4698.8	4681.9
Temperatura (°C)	26	26
Peso recipiente + agua calibrado	3829	3829
G _s máx	2.336	2.333
Promedio G _s máx	2.335	

GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA Y VACIOS

# Past.	W. SECO (g)	W. S.S.S. (g)	W. SUM. (g)	VOLUMEN (cm ³)	GRAV. ESPEC.	Gbs. máx teo.	% VACIOS
1	1428.3	1458.7	802.7	656.0	2.177	2.335	6.73
2	1495.1	1526.6	836.1	690.5	2.165	2.335	7.25
3	1362.7	1392.2	768.3	623.9	2.184	2.335	6.44
4	1438.9	1470.5	809.8	660.7	2.178	2.335	6.71
Promedios					2.176		6.78

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
SECCIÓN ASFALTOS

ENSAYO DE ESTABILIDAD RETENIDA (MARSHALL)

TABLA A - 3.	
PROYECTO: RADIAL GRECIA	#1, CARPETA
FECHA MUESTREO: 11/6/96	MUESTRA: 1 + 024
FECHA RESULTADOS: 6/8/96	ESPESOR: 8 cm.
GOLPES/LADO: 75	

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA			
ASF	W VIDRI	WREC	W. SECQ
6	1343	3260	11624
		5260	12785
		WR+WS	WR+WA
			GS MAX
			2.384

No. Prst.	GRUPO	W. SECQ (g)	W. S.S.S. (g)	W. SUM. (g)	VOLUMEN (cm3)	GRAV. ESPEC.	Gbs. máx teo.	VACIOS %	LECT. ANILLO (x10 - 4")	ESTAB. MEDIDA (Kg)	FACTOR CORREC.	ESTAB. CORREG. (Kg)	FLUJO (1/100")	FLUJO CORREG. (1/100cm)
1	A	1099.1	1106.9	605.6	501.3	2.192	2.384	8.0	290	1546.9	1.04	1608.8	15	38
2	G	1102.1	1110.0	607.7	502.3	2.194	2.384	8.0	312	1650.0	1.04	1716.0	19	48
3	U	1106.1	1113.0	609.9	503.1	2.199	2.384	7.8	305	1617.2	1.04	1681.9	16	41
4	A	1106.0	1113.1	605.0	508.1	2.177	2.384	8.7	295	1570.3	1.04	1633.1	21	53
					Promedios	2.190	2.384	8.1				1659.9		45
5	A	1098.4	1105.8	606.6	499.2	2.200	2.384	7.7	406	2090.6	1.04	2174.3	7	18
6	I	1102.7	1108.2	603.6	504.6	2.185	2.384	8.3	450	2296.9	1.04	2388.8	9	23
7	R	1101.1	1106.2	604.8	501.4	2.196	2.384	7.9	348	1818.8	1.04	1891.5	18	46
8	E	1104.0	1111.0	603.7	507.3	2.176	2.384	8.7	330	1734.4	1.04	1803.8	15	38
					Promedios	2.189	2.384	8.2				2064.6		31

OBSERVACIONES:

Estab. Retenida (ER) %

80.4

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
 LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
 SECCION DE ASFALTOS

ENSAYO DE RESISTENCIA RETENIDA

TABLA A - 4.	
PROYECTO:	RADIAL GRECIA
MUESTRA:	#1, CARPETA
FECHA MUESTREO:	11/6/96
FECHA RESULTADOS:	6/8/96
ESTACION:	1 + 024
ESPESOR:	8 cm

# PAST	GRUPO	W. SECO (g)	W. S.S.S. (g)	W. SUM. (g)	VOLUMEN (cm ³)	GRAY ESPEC.	CARGA COMPRESION (lb)	CARGA COMPRESION (kg)
1	AGUA	1742.2	1757.8	961.5	793.3	2.196	11200	5090.9
2	AGUA	1741.6	1756.1	967.3	788.8	2.208	10500	4772.7
3	AGUA	1744.8	1753.5	962.1	791.4	2.205	12500	5681.8
		PROMEDIOS		961.6	791.2	2.203		5181.8

4	AIRE	1743.5	1755.2	963.7	791.5	2.203	16000	7272.7
5	AIRE	1740.7	1749.2	959.6	789.6	2.205	14900	6772.7
6	AIRE	1744.6	1756.6	962.9	793.7	2.198	15000	6818.2
		PROMEDIOS		962.1	791.6	2.202		6954.5

Resist. Retenida (RR) % 74.5

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
SECCION DE ASFALTOS

ENSAYO DE CONTENIDO DE ASFALTO Y GRADUACION DE LA EXTRACCION

TABLA A - 5.			
PROYECTO:	RADIAL GRECIA		
FECHA MUESTREO:	11/6/96	MUESTRA:	#1. CARPETA
FECHA RESULTADOS:	6/8/96	ESTACION	1 + 024
METODO:	CENTRIFUGA	ESPEJOR:	3 cm

A. Contenido neto de asfalto, Ceniza y Agua

% ASF total =	7.42
% ASF agreg =	8.01

% CENIZA =	0.24
------------	------

% AGUA =	0.10
----------	------

B. Graduación de la extracción

MALLA	% PAS. ACUMUL.	ESPECIF. GRAD B.
1"	100	-
3/4"	100	100
3/8"	90	70 - 90
#4	66	50 - 70
#8	48	35 - 50
#50	17	13 - 23
#200	6.8	3 - 8

OBSERVACIONES _____

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
SECCIÓN ASFALTOS

ENSAYO DE ESTABILIDAD RETENIDA (MARSHALL)

TABLA A - 6.			
PROYECTO:	RADIAL GRECIA		
FECHA MUESTREO:	11/6/96	MUESTRA:	#2, CARPETA
FECHA RESULTADOS:	13/8/1996	ESTACION:	2 + 324
GOLPES/LADO:	75	ESPESOR:	7.0 - 8.5 cm

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA						
% ASF	W ydrio	W req.	W req/mat	W total	W rec cal	GS MAX
	1341	3253	5253	12724	11624	2.222

# Pesi	GRUPO	W. SECO (g)	W. S.S.S. (g)	W. SUM. (g)	VOLUMEN (cm ³)	GRAV. ESPEC.	Gbs. máx teo.	VACIOS %	LECT. ANILLO (x 10 ⁻⁴ m)	ESTAB. MEDIDA (Kg)	FACTOR CORREC.	ESTAB. CORREG. (Kg)	FLUJO (1/100")	FLUJO CORREG (1/100cm)
1	A	1102.1	1116.9	604.2	512.7	2.150	2.222	3.3	200	1071.4	1	1071.4	14	36
2	G	1104.5	1112.1	605.5	506.6	2.180	2.222	1.9	242	1296.4	1.04	1348.3	12	30
3	U	1105.3	1114.0	604.7	509.3	2.170	2.222	2.3	252	1350.0	1	1350.0	15	38
4	A	1100.7	1109.6	605.2	504.4	2.182	2.222	1.8	293	1560.9	1.04	1623.4	19	48
											1348.3			
5	A	1102.8	1115.5	601.6	513.9	2.146	2.222	3.4	202	1082.1	1	1082.1	11	28
6	I	1104.6	1114.5	605.9	508.6	2.172	2.222	2.3	265	1419.6	1	1419.6	11	28
7	R	1102.5	1111.2	603.3	507.9	2.171	2.222	2.3	298	1584.4	1.04	1647.8	18	46
8	E	1103.8	1110.0	605.0	505.0	2.186	2.222	1.6	292	1556.3	1.04	1618.5	9	23
											1442.0			

Estab. Retenida (ER) %	93.5
------------------------	------

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
SECCION DE ASFALTOS

ENSAYO DE RESISTENCIA RETENIDA

TABLA A - 7.	
PROYECTO:	RADIAL GRECIA
FECHA MUESTREO:	11/6/96
FECHA RESULTADOS:	13/8/1996
MUESTRA:	#2, CARPETA
ESTACION:	2 + 324
ESPESOR:	7 0 - 8 5 cm

# PAST	GRUPO	W. SECO (g)	W. S.S.S. (g)	W. SUM (g)	VOLUMEN (cm ³)	GRAV. ESPEC.	CARGA COMPRESION (Lb)	CARGA COMPRESION (Kg)
1	AGUIA	1738.6	1748.3	952.5	795.8	2.185	14300	6500.0
2	AGUIA	1734.7	1745.3	958.3	787.0	2.204	17000	7727.3
3	AGUIA	1738.3	1748.3	956.7	791.6	2.196	15100	6863.6
				PROMEDIOS	791.5	2.195		7030.3
4	AIRI	1739.2	1751.5	960.2	791.3	2.198	22000	10000.0
5	AIRI	1738.2	1748	958.1	789.9	2.201	19700	8954.5
6	AIRI	1738.7	1750.7	958.5	792.2	2.195	18500	8409.1
				PROMEDIOS	791.1	2.198		9121.2

Resist. Retenida (%) **77.1**

OBSERVACIONES

PGRECIA2.XLS

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
SECCION DE ASFALTOS

ENSAYO DE CONTENIDO DE ASFALTO Y GRADUACION DE LA EXTRACCION

TABLA A - 8.		
PROYECTO:	RADIAL GRECIA	
FECHA MUESTREO:	11/6/96	MUESTRA: #2. CARPETA
FECHA RESULTADOS:	13/8/1996	ESTACION 2 + 324
METODO:	REFLUX	ESPEJOR: 7.0 - 8.5 cm

A. Contenido neto de asfalto, Ceniza y Agua

% ASF total =	6.14
% ASF agreg =	6.57

% CENIZA =	0.11
------------	------

% AGUA =	0.04
----------	------

B. Graduación de la extracción

MALLA	% PAS. ACUMUL.	ESPECIF. GRAD B.
1"	100	-
3/4"	100	100
3/8"	84	70 - 90
#4	59	50 - 70
#8	41	35 - 50
#50	15	13 - 23
#200	6.7	3 - 8

OBSERVACIONES _____

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
SECCIÓN ASFALTOS

ENSAYO DE ESTABILIDAD RETENIDA (MARSHALL)

TABLA A - 9.	
PROYECTO: RADIAL GRECIA	
FECHA MUESTREO:	11/6/96 MUESTRA: #3, CARPETA
FECHA RESULTADOS:	13/8/1996 ESTACION: 4 + 040
GOLPES/LADO:	75 ESPESOR: 7.5 cm

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA					
% ASF	W vidrio	W req.	W req+mat	W req cali.	GS MAX
	1339	3252	5230	11624	2.355

# Pasl.	GRUPO	W. SECO (g)	W. S.S.S. (g)	W. SUM. (g)	VOLUMEN (cm ³)	GRAV. ESPEC.	Gbs. máx teo.	VACIOS %	LECT. ANILLO (x 10 ⁻⁴ "	ESTAB. MEDIDA (Kg)	FACTOR CORREC.	EÑAB. CORREG. (Kg)	FLUJO (1/100")	FLUJO CORREG (1/100cm)
1	A	1092.5	1106.0	604.8	501.2	2.180	2.355	7.4	270	1446.4	1.04	1504.3	18	46
2	G	1106.1	1112.8	607.2	505.6	2.188	2.355	7.1	287	1532.8	1.04	1594.1	10	25
3	U	1094.9	1107.2	602.6	504.6	2.170	2.355	7.9	280	1500.0	1.04	1560.0	13	33
4	A	1064.4	1077.9	587.3	490.6	2.170	2.355	7.9	255	1366.1	1.09	1489.0	9	23
				Promedios		2.177	2.355	7.6				1536.8		32
5	A	1031.9	1040.6	567.7	472.9	2.182	2.355	7.3	313	1654.7	1.14	1886.3	8	20
6	I	1091.9	1102.8	598.9	503.9	2.167	2.355	8.0	278	1489.3	1.04	1548.8	8	20
7	R	1042.5	1051.6	573.5	478.1	2.181	2.355	7.4	290	1546.9	1.14	1763.4	9	23
8	E	1084.4	1092.9	593.9	499.0	2.173	2.355	7.7	343	1795.3	1.04	1867.1	20	51
				Promedios		2.176	2.355	7.6				1766.4		29

Estab. Retenida (ER) %	87.0
------------------------	------

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
SECCION DE ASFALTOS

ENSAYO DE RESISTENCIA RETENIDA

TABLA A - 10.	
PROYECTO:	RADIAL GRECIA
MUESTRA	#3, CARPETA
FECHA MUESTREO	11/6/96
ESTACION	4 + 040
FECHA RESULTADOS	13/8/1996
ESPESOR	7.5 cm

# PAST	GRUPO	W. SECO (g)	W. S.S.S. (g)	W. SUM (g)	VOLUMEN (cm ³)	GRAY. ESPEC.	CARGA COMPRE (Lb)	CARGA COMPRE (kg)
1	AGUA	1746.6	1757.7	963.0	794.7	2.198	13400	6090.9
2	AGUA	1742.1	1752.8	960.8	792.0	2.200	12700	5772.7
3	AGUA	1741.6	1752.2	960.1	792.1	2.199	13200	6000.0
				PROMEDIOS	792.9	2.199		5954.5
4	AIRE	1738.7	1748.2	956.0	792.2	2.195	17400	7909.1
5	AIRE	1738.0	1744.4	954.3	790.1	2.200	18100	8227.3
6	AIRE	1726.8	1739.4	954.0	785.4	2.199	16800	7636.4
				PROMEDIOS	789.2	2.198		7924.2

Resist. retenida (%)	75.1
----------------------	-------------

OBSERVACIONES

PGRECIA3 XLS

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
SECCION DE ASFALTOS

ENSAYO DE CONTENIDO DE ASFALTO Y GRADUACION DE LA EXTRACCION

TABLA A - 11.			
PROYECTO:	RADIAL GRECIA		
FECHA MUESTREO:	11/6/96	MUESTRA:	#3. CARPETA
FECHA RESULTADOS:	14/8/1996	ESTACION	4 + 040
METODO:	REFLUX	ESPEJOR:	7.5 cm

A. *Contenido neto de asfalto. Ceniza y Agua*

% ASF total =	8.55
% ASF agreg =	9.35

% CENIZA =	0.10
------------	------

% AGUA =	0.08
----------	------

B. *Graduación de la extracción*

MALLA	% PAS. ACUMUL.	ESPECIF. GRAD B.
1"	100	-
3/4"	100	100
3/8"	82	70 - 90
#4	56	50 - 70
#8	39	35 - 50
#50	14	13 - 23
#200	5.5	3 - 8

OBSERVACIONES _____

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
SECCIÓN ASFALTOS

ENSAYO DE ESTABILIDAD RETENIDA (MARSHALL)

TABLA A - 12.			
PROYECTO: RADIAL GRECIA			
FECHA MUESTREO:	11/6/96	MUESTRA:	#4, CARPETA
FECHA RESULTADOS:	14/8/1996	ESTACION:	6 + 543
GOLPES/LADO:	75	ESPESOR:	7.0 - 7.5 cm.

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA			
BASE	W vidrio	W rec.	W rec mat
6	1340	3254	5254
			Wrec cali.
			11624
			GS MAX
			2.353

Pas.	GRUPO	W. SECO (g)	W. S.S. (g)	W. SUM. (g)	VOLUMEN (cm ³)	GRAV. ESPEC.	Gbs. máx teo.	VACIOS %	LECT. ANILLO (x 10 ⁻⁴ "	ESTAB. MEDIDA (Kg)	FACTOR CORREC.	ESTAB. CORREG. (Kg)	FLUJO (1/100")	FLUJO CORREG (1/100cm)
1	A	1105.0	1109.9	611.1	498.8	2.215	2.353	5.8	286	1528.1	1.04	1589.3	16	41
2	G	1103.8	1108.5	607.6	500.9	2.204	2.353	6.3	258	1382.1	1.04	1437.4	9	23
3	U	1101.1	1104.1	606.0	498.1	2.211	2.353	6.0	290	1546.9	1.04	1608.8	14	36
4	A	1103.6	1110.0	608.5	501.5	2.201	2.353	6.5	292	1556.3	1.04	1618.5	12	30
					Promedios	2.208	2.353	6.2				1563.5		32
5	A	1096.5	1099.0	605.4	493.6	2.221	2.353	5.6	298	1584.4	1.09	1727.0	16	41
6	I	1104.8	1110.9	607.6	503.3	2.195	2.353	6.7	284	1518.8	1.04	1579.5	16	41
7	R	1102.7	1105.0	607.5	497.5	2.216	2.353	5.8	298	1584.4	1.04	1647.8	15	38
8	E	1102.5	1108.9	610.2	498.7	2.211	2.353	6.0	269	1441.1	1.04	1498.7	8	20
					Promedios	2.211	2.353	6.0				1613.2		35

OBSERVACIONES:

Estab. Retenida (ER) %	96.9
------------------------	------

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
 LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
 SECCION DE ASFALTOS

ENSAYO DE RESISTENCIA RETENIDA

TABLA A - 13.	
RADIAL GRECIA	
PROYECTO:	MUESTRA #4, CARPETA
FECHA MUESTREO:	ESTACION 6 + 543
FECHA RESULTADOS:	ESPESOR 7 0 - 7 5 cm

# PAST	GRUPO	W. SECO (g)	W. S.S.S. (g)	W. SUM (g)	VOLUMEN (cm ³)	GRAV. ESPEC.	CARGA COMPRESION (Lb)	CARGA COMPRESION (kg)
1	AGUA	1735.5	1742.5	954.9	787.6	2.204	10800	4909.1
2	AGUA	1741.5	1751.3	960.2	791.1	2.201	9800	4454.5
3	AGUA	1741.5	1750.3	961.6	788.7	2.208	10200	4636.4
		PROMEDIOS		789.1	2.204			4666.7

4	AIRE	1743.8	1749.9	959.9	790.0	2.207	13100	5954.5
5	AIRE	1743.5	1749.9	957.4	792.5	2.200	13000	5909.1
6	AIRE	1742.2	1746.7	956.8	789.9	2.206	13700	6227.3
		PROMEDIOS		790.8	2.204			6030.3

Resist. Retenida (RR) %	77.4
--------------------------------	-------------

OBSERVACIONES

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
SECCION DE ASFALTOS

ENSAYO DE CONTENIDO DE ASFALTO Y GRADUACION DE LA EXTRACCION

TABLA A - 14.		
PROYECTO:	RADIAL GRECIA	
FECHA MUESTREO:	11/6/96	MUESTRA: # 4 , CARPETA
FECHA RESULTADOS:	13/8/1996	ESTACION 6 + 543
METODO:	REFLUX	ESPESOR: 7.0 - 7.5 cm

A. Contenido neto de asfalto, Ceniza y Agua

% ASF total =	8.72
% ASF agreg =	9.55

% CENIZA=	0.67
-----------	------

% AGUA =	0.12
----------	------

B. Graduación de la extracción

MALLA	% PAS. ACUMUL.	ESPECIF. GRAD B.
1"	100	-
3/4"	100	100
3/8"	87	70 - 90
#4	62	50 - 70
#8	43	35 - 50
#50	14	13 - 23
#200	6.2	3 - 8

OBSERVACIONES _____

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
SECCIÓN ASFALTOS

ENSAYO DE ESTABILIDAD RETENIDA (MARSHALL)

TABLA A - 15.			
PROYECTO: RADIAL GRECIA			
FECHA MUESTREO:	6/11/96	MUESTRA:	# 5, CARPETA
FECHA RESULTADOS:	8/31/96	ESTACION:	8 + 400
GOLPES/LADO:	75	ESPESOR:	5,7 - 6,5 cm

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA				
W _{reg}	W _{reg} max	W _{total}	W _{rec} cali.	GS MAX
1339	3252	5241	11624	2.388

Presi.	GRUPO	W, SECO (g)	W, S.S.S (g)	W, SUM. (g)	VOLUMEN (cm ³)	GRAY. ESPEC.	Gbs. máx teq.	VACIOS %	LECT. ANILLO (x 10 ⁻⁴ "	ESTAB. MEDIDA (Kg)	FACTOR CORREC.	ESTAB. CORREG. (Kg)	FLUJO (1/100")	FLUJO CORREG (1/100cm)
1	A	1099.9	1112.2	615.3	496.9	2.214	2.388	7.3	230	1232.1	1.04	1281.4	8	20
2	G	1098.2	1106.1	610.6	495.5	2.216	2.388	7.2	247	1323.2	1.04	1376.1	14	36
3	U	1106.3	1113.7	616.5	497.2	2.225	2.388	6.8	229	1226.8	1.04	1275.8	12	30
4	A	1104.0	1111.1	611.0	500.1	2.208	2.388	7.5	218	1167.8	1.04	1214.6	14	36
					Promedios	2.216	2.388	7.2				1287.0		30
5	A	1112.0	1124.7	621.7	503.0	2.211	2.388	7.4	258	1382.1	1.04	1437.4	11	28
6	I	1107.5	1115.2	614.8	500.4	2.213	2.388	7.3	252	1350.0	1.04	1404.0	8	20
7	R	1101.0	1111.2	613.4	497.8	2.212	2.388	7.4	252	1350.0	1.04	1404.0	7	18
8	E	1106.1	1111.1	614.0	497.1	2.225	2.388	6.8	300	1593.8	1.04	1657.5	22	56
					Promedios	2.215	2.388	7.2				1475.7		30

OBSERVACIONES:

Estab. Retenida (ER) %	87.2
------------------------	------

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
SECCION DE ASFALTOS

ENSAYO DE RESISTENCIA RETENIDA

TABLA A - 16.	
RADIAL GRECIA	
PROYECTO:	MUESTRA # 5, CARPETA
FECHA MUESTREO:	6/11/96 ESTACION 8 + 400
FECHA RESULTADOS:	8/31/96 ESPESOR 5,7 - 6,5 cm

# PAST	GRUPO	W. SECO (g)	W. S.S.S. (g)	W. SUM (g)	VOLUMEN (cm ³)	GRAY. ESPEC.	CARGA COMPRE (Lb)	CARGA COMPRE (Kg)
1	AGUIA	1732.7	1746.2	965.3	780.9	2.219	10700	4863.6
2	AGUIA	1745.5	1761.9	977.3	781.6	2.225	9700	4409.1
3	AGUIA	1745.0	1762.7	973.4	789.3	2.211	10300	4681.8
		PROMEDIOS		974.9	784.9	2.218		4657.5
4	AIRE	1739.1	1754	971.4	782.6	2.222	14300	6500.0
5	AIRE	1735.0	1750.2	967.5	782.7	2.217	13300	6045.5
6	AIRE	1740.4	1756.8	971.8	785.0	2.217	12400	5636.4
		PROMEDIOS		973.4	783.4	2.219		6060.6

Resist. Retenida (RR) %	76.8
--------------------------------	-------------

OBSERVACIONES:

PGRECIA5 XLS

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
SECCION DE ASFALTOS

ENSAYO DE CONTENIDO DE ASFALTO Y GRADUACION DE LA EXTRACCION

TABLA A - 17.			
PROYECTO:	RADIAL GRECIA		
FECHA MUESTREO:	6/11/96	MUESTRA:	#5. CARPETA
FECHA RESULTADOS:	8/31/96	ESTACION	3 + 400
METODO:	REFLUX	ESPEJOR:	5.7 - 6.5 cm

A. Contenido de asfalto, Ceniza y Agua

% ASF total =	7.21
% ASF agreg =	7.77

% CENIZA=	0.29
-----------	------

% AGUA =	0.18
----------	------

B. Graduación de la extracción

MALLA	% PAS. ACUMUL.	ESPECIF. GRAD B.
1"	100	-
3/4"	100	100
3/8"	88	70 - 90
#4	60	50 - 70
#8	41	35 - 50
#50	15	13 - 23
#200	6.3	3 - 8

OBSERVACIONES _____

ANEXO II

JUSTIFICACION PARA SELECCION DEL METODO DE
CALCULO DE TOLERANCIAS



CRITERIO PARA DEFINICION DEL METODO PARA CALCULO DE TOLERANCIAS.

1- Objetivo.

De acuerdo con el código CR-77 existen rangos de tolerancia tanto para el contenido de asfalto en la mezcla como para las curvas granulométricas; sin embargo, no es claro si dichos rangos de tolerancia son absolutos o relativos a los valores de diseño. Para determinar cual criterio se debe seguir, se pueden comparar las desviaciones estándar típicas (AASHTO) en plantas de concreto asfáltico con las dos posibles asepciones de la norma del CR-77. La posición recomendable será la que tenga más sentido de acuerdo con las desviaciones estándar reales.

2- Desviaciones estándar típicas de plantas de concreto asfáltico.

La AASHTO (AASHTO, manual de diseño para concreto mezclado en caliente) ha determinado las desviaciones estándar típicas en plantas de concreto asfáltico, con base en estudios realizados en Estados Unidos (Tabla No. 1).

Tabla No. 1. Desviaciones estándar típicas de la AASHTO.

PARAMETRO	DESV. ESTANDAR MINIMA	DESV. ESTANDAR MEDIA	DESV. ESTANDAR ALTA
% agregado pasando mallas 3/4" y 1/2"	1.5	3.0	4.5
% agregado pasando malla 3/8"	2.5	4.0	6.0
% agregado pasando malla No. 4	3.2	3.8	4.2
% agregado pasando mallas No. 40 y No. 50	1.3	1.5	1.7
% agregado pasando malla No. 200	0.8	0.9	1.0
% contenido de asfalto	0.1	0.25	0.4

3- Comparación de métodos para la determinación de tolerancias.

Utilizando las desviaciones estándar medias y considerando que en una distribución normal el 95 % de confianza se obtiene para un rango de ± 2 desviaciones estándar se calculan los intervalos de referencia de la Tabla No. 2.

Para efectos de comparación se ha decidido utilizar los valores medios del rango de especificaciones para la granulometría y un contenido de asfalto típico (6.5 %), de manera que con ellos se determinan las tolerancias en forma relativa.

Tabla No. 2. Comparación de métodos para cálculo de tolerancias.

PARAMETRO	MEDIA DE ESPEC.	RANGO NORMAL (1)	TOLERANCIA ABSOLUTA	TOLERANCIA RELATIVA
% agregado pasando mallas 3/4" y 1.2"	100	-----	-----	-----
% agregado pasando malla 3/8"	80	± 8	± 5	± 4
% agregado pasando malla No. 4	60	± 7.6	± 5	± 3
% agregado pasando mallas No. 40 y No. 50	18	± 3.0	± 7	± 1.26
% agregado pasando malla No. 200	5.5	± 1.8	± 2	± 0.11
% contenido de asfalto	6.5	± 0.5	± 0.5	± 0.0325

(1) Rangos calculados con base en las desviaciones estándar medias, considerando que dos desviaciones estándar tienen cubren un 95 % de confianza en una distribución normal.

4- Conclusión.

En general, los rangos de tolerancia absolutos se aproximan más a los rangos calculados con base en rendimientos reales, que los rangos de tolerancia relativos. Adicionalmente, los rangos de tolerancia absolutos tienden a ser más cerrados que los rangos con base en rendimientos reales, exceptuando los porcentajes pasando las mallas No. 40/50 y No. 200.

Para la malla No. 40/50, si se requiriera un rendimiento real correspondiente a un rango de ± 1.26 % (tolerancia relativa), esto correspondería a una desviación estándar en planta de 0.63 %, que es menor al mínimo de 1.3 %, logrado cuando el control de calidad es óptimo (mínima desviación estándar proporcionada por la AASHTO). En el caso de la tolerancia absoluta para la malla No. 40/50 (7 %), la desviación estándar real correspondiente sería de 3.5 %, que es superior al máximo de 1.7 % que especifica la AASHTO, por lo que la tolerancia a este nivel es relativamente abierta para las condiciones reales de la planta.

Para el porcentaje de agregado pasando la malla No. 200, el rango de tolerancia absoluta corresponde a una desviación estándar real de planta de 1.0 %, que es exactamente el mismo valor máximo que la AASHTO establece. La tolerancia relativa de 0.11 % corresponde a una desviación estándar real de 0.055 %, que sería un criterio irreal, dado que la AASHTO establece que lo mejor que se puede lograr es 0.8 %.

En la tabla No. 3 se presenta una comparación de métodos de cálculo de tolerancia para todas las categorías, indicando a que desviación estándar real de planta se asemejan más (calculada al dividir el rango por dos, de acuerdo con el criterio de las dos desviaciones estándar).

Tabla No. 3. Comparación de tolerancias absoluta/relativa con desviaciones estándar reales de planta (según AASHTO).

Categoría.	Tolerancia absoluta.	Tolerancia relativa.
% agregado pasando malla 9.25 mm (3/8")	$\delta = 2.5$, superior al mínimo, inferior a la media.	$\delta = 2.0$, superior al mínimo, inferior a la media.
% agregado pasando malla No. 4	$\delta = 2.5$, igual al mínimo.	$\delta = 1.5$, más exigente que el mínimo
% agregado pasando mallas No. 40/50	$\delta = 3.5$, superior al máximo	$\delta = 0.63$, más exigente que el mínimo
% agregado pasando malla No. 200	$\delta = 1.0$, igual al máximo	$\delta = 0.055$, más exigente que el mínimo
% contenido de asfalto	$\delta = 0.25$, igual a la media	$\delta = 0.01625$, más exigente que el mínimo

En la Tabla No. 3 puede notarse como las tolerancias en términos absolutos se aproximan bastante a las desviaciones estándar típicas de la AASHTO, aunque algunas veces tienden a ser los valores mínimos; otras veces, los máximos; y algunas veces, la media. Únicamente para el porcentaje de agregado pasando las mallas No. 40/50, la tolerancia absoluta permite mayor variabilidad que lo que la AASHTO establece como típico. Las tolerancias en términos relativos corresponderían a un nivel de precisión muy difícil de lograr en planta, especialmente para % de agregado pasando las mallas No. 40/50 y No. 200, así como el contenido de asfalto.

Con base en este análisis se considera que las tolerancias en términos absolutos es el criterio que debe regir al aplicar las normas del CR-77.

