

CONTROL DE COMPACTACIÓN DE CAPAS ASFÁLTICAS

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta un análisis de distintos procedimientos utilizados para el control de compactación de capas asfálticas, de conformidad con la normativa que regula esta técnica de control de calidad.

El estudio realizado incluye capas con espesores diferentes, colocadas en distintos proyectos, así como especímenes con diferentes formas geométricas y grados de absorción de agua.

El trabajo experimental se dividió en dos etapas. En la primera se estudió la viabilidad técnica del muestreo de campo y la ejecución de dos procedimientos de ensayo de laboratorio para determinar el porcentaje de vacíos en las muestras tomadas. Así mismo, se analizaron los principales factores que afectan la determinación de los vacíos de la mezcla asfáltica en laboratorio. La segunda etapa se realizó con el objetivo de verificar la viabilidad técnica de determinar los vacíos de la mezcla asfáltica en el laboratorio, siguiendo tres procedimientos diferentes de ensayo.

2. ESQUEMA EXPERIMENTAL

2.1 Etapa N°1

Dentro del esquema experimental (Figura N°1) se consideraron los siguientes aspectos:

- Espesor de la capa asfáltica
- Muestreo en campo por medio de núcleos y bloques
- Forma del espécimen: cúbica o cilíndrica
- Absorción de agua
- Determinación del volumen del espécimen por el método saturado superficie seca (ASTM D 2726-00 "Standard Test Method for Bulk Specific

Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures”), y por el método de recubrir los especímenes con “parafilm” (ASTM D 1188-96, reapproved 2002, “Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples”)

En la Tabla N°1 se detalla la ubicación y el espesor de la capa asfáltica, de las muestras analizadas. En esta tabla se puede apreciar, que en este estudio se consideraron sobrecapas con espesores en el rango de 3.0 cm a 9.0 cm. Estos puntos de muestreo se hicieron en el Valle Central, la zona Atlántica y Norte del país.

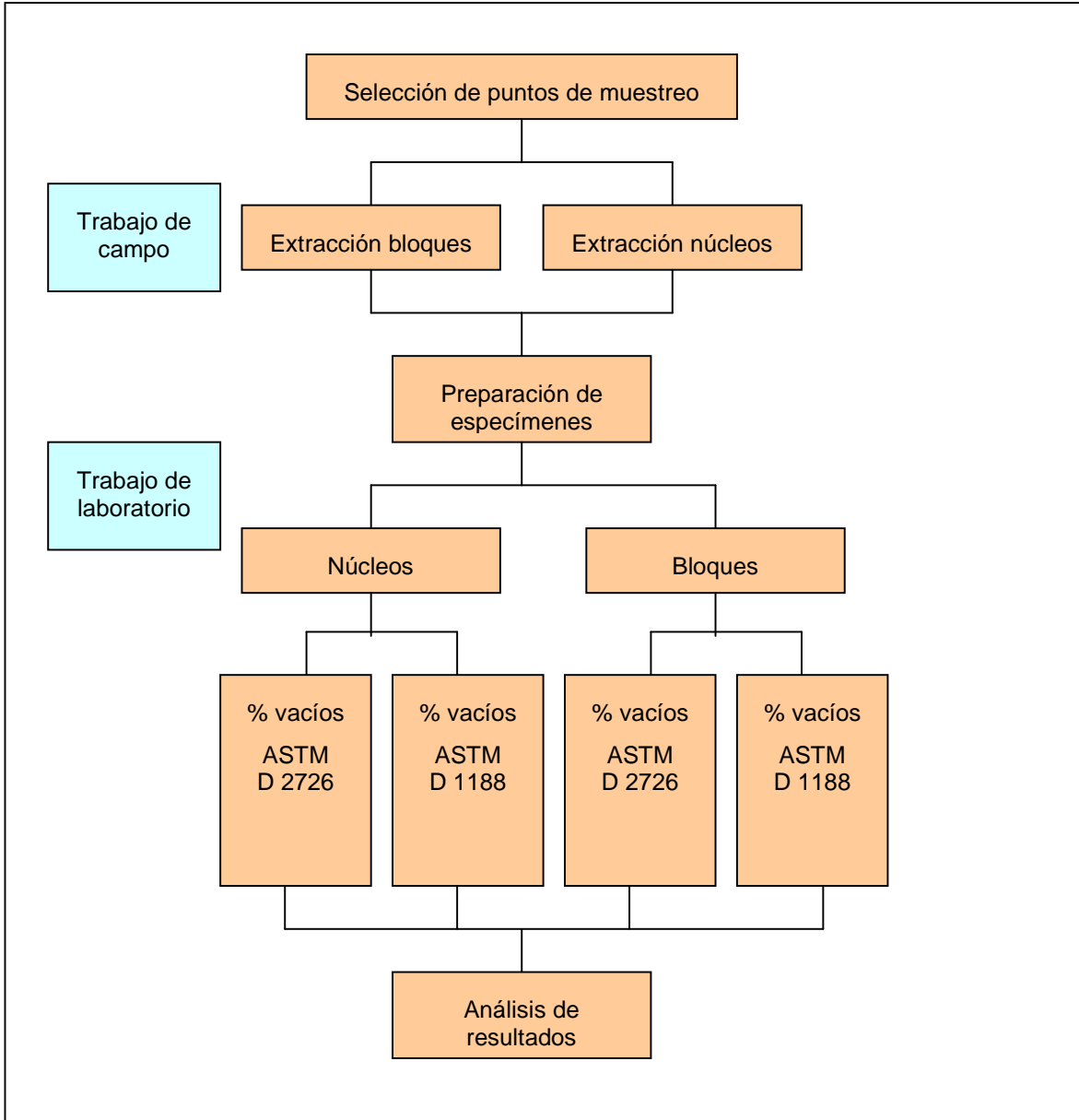


Figura N°1: Esquema experimental, etapa N°1.

Tabla N°1: Descripción de puntos de muestreo.

Punto (fecha de muestreo)	Ubicación	Espesor sobrecapa asfáltica nueva (cm)	Espesor capa asfáltica subyacente (*) (cm)
1 17/01/03	Ruta 221. Curridabat - Concepción de Tres Ríos.	6.0	5.0 capa asfáltica subyacente 40.0 base granular
2 03/02/03	Y Griega - San Francisco de Dos Ríos	6.0	5.0 capa asfáltica subyacente
3 06/02/03	Frente Soda Tapia, La Sabana.	6.5	4.0 capa asfáltica subyacente.
4 04/02/03	San Francisco de Dos Ríos.	6.0	6.0 capa asfáltica subyacente
5 21/02/03	La Valencia, Heredia.	6.0	8.0 capa asfáltica subyacente
6 17/03/03	Guachipelín, Escazú.	7.0	5.0 capa asfáltica subyacente
7 20/03/03	Piedades de Santa Ana.	7.0	4.0 capa asfáltica subyacente 6.0 base asfáltica
8 27/08/03	San Carlos. Frente al Liceo	5.0	4.0 capa asfáltica subyacente
9 29/09/03	Ruta 34. Quepos - Parrita, 16+800.	7.0	Existe base estabilizada.
10 01/10/03	Ruta 34. Quepos - Parrita, 14+700.	6.0	5.0 capa asfáltica subyacente
11 21/10/03	Ruta 34. Quepos - Parrita, 10+910.	9.0	7.0 capa asfáltica subyacente

(*) Este espesor puede incluir una o más capas asfálticas existentes.

Tabla N°1: Descripción de puntos en estudio (continuación).

Punto (fecha de muestreo)	Ubicación	Espesor capa asfáltica nueva (cm)	Espesor capa asfáltica existente (cm)
12 13-01-04	Ruta 10. Siquirres - Turrialba, 10+250	6.0	5.0 capa asfáltica subyacente
13 15/01/04	Ruta 10. Siquirres - Turrialba, 9+750.	6.0	7.0 capa asfáltica subyacente
14 04/02/04	Ruta 10. Siquirres - Turrialba, 7+150.	9.0	2.5 capa asfáltica subyacente
15 05/02/04	Ruta 10. Siquirres - Turrialba, 7+100.	6.0	4.0 capa asfáltica subyacente
16 11/02/04	Ruta 10. Siquirres - Turrialba, 5+950.	6.0	-
17 12/02/04	Ruta 10. Siquirres - Turrialba, 5+360.	5.5	5.0 base granular mejorada con cemento.
18 13/02/04	Ruta 10. Siquirres - Turrialba, 5+150.	6.0	-
19 23/03/04	Ruta 2. Pérez Zeledón - Buenos Aires. 11+150.	4.5	12.0 base estabilizada nueva.
20 31/03/04	Carmioli Por centro donde se cuida los niños de la universidad	5.0	8.0 capa asfáltica subyacente
21 31/03/04	Cedros Antes de llegar a la intersección hacia Lourdes	4.5	4.5 capa asfáltica subyacente
22 31/03/04	Bº Escalante Frente a Ofiplaza del Este	4.0	4.0 capa asfáltica subyacente

Tabla N°1: Descripción de puntos en estudio (continuación).

Punto (fecha de muestreo)	Ubicación	Espesor capa asfáltica nueva (cm)	Espesor capa asfáltica existente (cm)
23 02/04/04	Atrás de Novacento (carretera que comunica Mall el Dorado con Novacento)	4.0	4.0 capa asfáltica subyacente
24 12/04/04	San Isidro - Heredia	3.5	3.5 capa asfáltica subyacente
25 12/04/04	La Trinidad - Moravia	3.0	8.0 capa asfáltica subyacente
26 13/04/04	Ruta 4, Sarapiquí 3+000	4.0	1.0 capa asfáltica subyacente
27 13/04/04	Ruta 4, Sarapiquí 7+000	4.0	2.0 capa asfáltica subyacente
28 13/04/04	Ruta 249, Teresa, Guápiles 4+000	3.5	7.0 capa asfáltica subyacente
29 13/04/04	Ruta 249, Teresa, Guápiles 12+000	6.0	-
30 14/04/04	Ruta 36 Limón, Aeropuerto	4.0	1.5 capa asfáltica subyacente
31 14/04/04	Ruta 36 Limón, Aeropuerto	3.5	1.5 capa asfáltica subyacente
32 14/04/04	Ruta 36 Limón, Aeropuerto	4.0	1.5 capa asfáltica subyacente
33 15/04/04	Ruta 702 Bajo Los Rodríguez	4.0	2.0 capa asfáltica subyacente
34 15/04/04	Ruta 141 Florencia – El Tanque	4.0	1.5 capa asfáltica subyacente

Tabla N° 1: Descripción de puntos en estudio (continuación).

Punto (fecha de muestreo)	Ubicación	Espesor capa asfáltica nueva (cm)	Espesor capa asfáltica existente (cm)
35 15/04/04	Ruta 141 Tanque - Javillos	4.5	2.0 capa asfáltica subyacente
36 15/04/04	Ruta 142 Tanque – La Fortuna	4.0	2.0 capa asfáltica subyacente
37 16/04/04	Ruta 142 Tilarán – La Fortuna	3.0	1.5 capa asfáltica subyacente
38 16/04/04	Ruta 142 La Fortuna – El Tanque	3.5	1.5 capa asfáltica subyacente
39 16/04/04	Ruta 4 La Fortuna - Monterrey	3.0	1.0 capa asfáltica subyacente
40 21/04/04	Heredia – San Isidro	3.5	-
41 21/04/04	Moravia – Doña Lela	4.5	-

2.2 Etapa N°2

En la segunda etapa, el muestreo en campo se llevó a cabo por medio de núcleos. Estos especímenes se ensayaron por tres procedimientos diferentes, para determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica en laboratorio. Estos procedimientos son: Método de sume AASHTO T 275-91 (2000), “Bulk Specific Gravity of Compacted Bituminous Mixtures Using Paraffin-Coated Specimens” (rotar el espécimen en parafina ()) y los dos métodos utilizados en la primera fase, de acuerdo con el esquema experimental que se muestra en la Figura N°2.

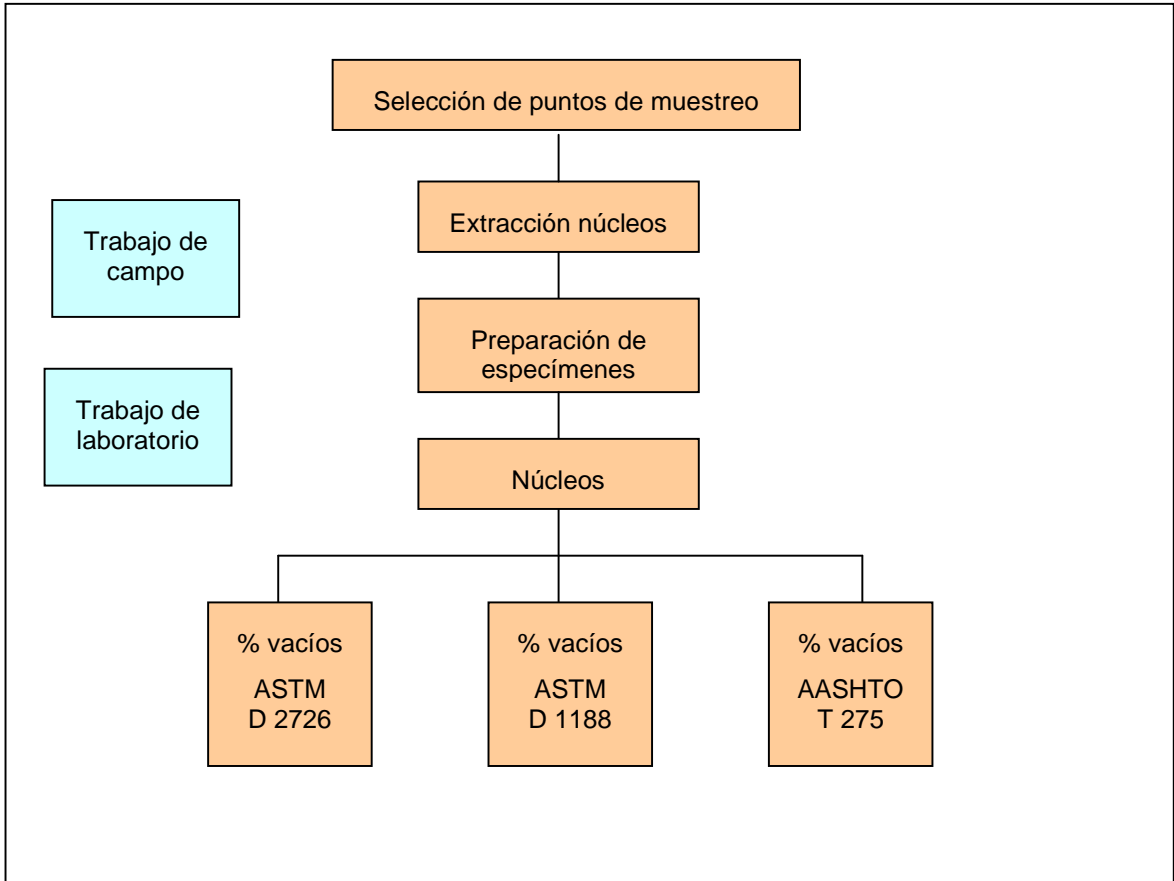


Figura N°2: Esquema experimental etapa N°2.

Para la aplicación de los tres métodos de ensayo, se seleccionaron tres conjuntos de muestras, diferentes entre sí, por el grado de compactación. Ver Tabla N°2. En el Anexo N°2 se presentan los resultados de laboratorio para la segunda etapa.

Tabla N°2: Descripción de los puntos de estudio, etapa N°2.

Punto (fecha de muestreo)	Número de muestras	Ubicación	Espesor capa asfáltica nueva (cm)	% vacíos
1 (22-06-04)	21	B° Escalante Frente a Ofiplaza del Este	4.0	Alto
2 (23-06-04)	21	San Isidro de Heredia.	3.5	Bajo
3 (23-06-04)	21	Moravia - Ruta 32	4.5	Medio

2.3 Descripción del trabajo de campo y laboratorio (etapa N°1)

En la primera etapa, en cada uno de los puntos en estudio, se realizó un trabajo de campo y otro de laboratorio. El trabajo de campo consistió en tomar un bloque de mezcla asfáltica de 40X40 cm; y 6 núcleos de 10.16 cm de diámetro, extraídos al lado del bloque, (ver Figura N°2). En el procedimiento de muestreo se incluye la manipulación y el transporte adecuados de las muestras.

Una vez que las muestras ingresan al laboratorio, inicia la segunda parte. Del bloque se cortan 4 cubos, de 8.5 cm de lado y una altura similar al espesor de sobrecapa colocado. Posteriormente, 2 de éstos bloques son ensayados por el método saturado superficie seca (ASTM D 2726-00 “Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures”) y los otros con el método de recubrir el espécimen con “parafilm” (ASTM D 1188-96, reapproved 2002, “Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples”), ver Figura N°3.



Figura N°2: Proceso de muestreo.

Del mismo bloque, se obtiene la densidad máxima teórica (ASTM D 2041-03, "Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures"). De los 6 núcleos, 3 son ensayados por el método de saturado superficie seca y los restantes por el método de recubrir el espécimen con parafilm. La altura de corte de los núcleos es similar al espesor de la sobrecapa colocada. Ver Figura N°4.

Nota: En algunos casos se extrajeron 4 núcleos y no 6 núcleos.



Figura N°3: Proceso en laboratorio con los bloques.

Finalmente, para cada espécimen se calculó el porcentaje de vacíos de aire. En el Anexo I se muestra un resumen con los siguientes datos para cada punto de estudio: espesor de sobrecapa nueva, espesor al cual se ensayaron las muestras, porcentaje de absorción de agua por volumen y porcentaje de vacíos de aire promedio.



Figura N°4: Proceso en laboratorio con los núcleos.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para evaluar la significancia de diferencias en el porcentaje de vacíos de aire, se realizan dos análisis de varianza. El primer análisis incluye 4 factores experimentales, los cuales se mencionan a continuación con sus respectivos niveles:

- % de absorción de agua por volumen: mayor o menor a 2%
- forma del espécimen de ensayo: núcleo o bloque
- método de ensayo: superficie saturada seca o con parafilm y
- espesor de colocación: mayor o menor a 5.0 cm.

Tabla N°2: Análisis de varianza para el parámetro “porcentaje de vacíos”.

Parámetro	Significancia del factor experimental (*)				
	Variables				Interacción
% vacíos	Absorción	Forma	Método	Espesor de colocación	Ninguna
	Sí (**)	No	Sí (**)	No	-

(*) nivel de confianza del 90%.

(**) efecto significativo con un nivel de confianza estadística de más del 99%.

En ambos casos resulta que tanto el porcentaje de absorción de agua, como el método de ensayo, determinan un cambio significativo en el porcentaje de vacíos. No hay evidencia, al 90% de confianza, de que la forma del espécimen ó el espesor de la capa asfáltica colocada, se relacionen con cambios significativos en el porcentaje de vacíos.

Como algunos especímenes se cortaron y se ensayaron, a un espesor menor al que fue colocado en el pavimento, se hizo el análisis de varianza para determinar su posible efecto en los resultados obtenidos (ver Tabla N°3). Dicho análisis mostró que los cortes realizados a los especímenes no indujeron cambios en los resultados de vacíos obtenidos.

Tabla N°3: Análisis de varianza para el parámetro “% vacíos” (con espesor de corte).

Parámetro	Significancia del factor experimental (*)				
	Variables				Interacción
% vacíos	Absorción	Forma	Método	Espesor de corte	Ninguna
	Sí (**)	No	Sí (**)	No	-

(*) nivel de confianza del 90%.

(**) efecto significativo con un nivel de confianza estadística de más del 99%.

Adicionalmente, con el propósito de conocer sobre la viabilidad de determinar en el laboratorio el contenido de vacíos de la mezcla, considerando diferentes espesores de capa y grados de absorción, se ensayaron sesenta y tres especímenes, aplicando tres diferentes procedimientos de ensayo (saturado superficie seca, “parafilm” y el método de la parafina). Los resultados se presentan en el Anexo 2.

4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA COMPACTACIÓN DE CAPAS ASFÁLTICAS

La gran variabilidad que se determinó en el porcentaje de vacíos de compactación en las capas asfálticas muestreadas, denota que estos procesos no pueden servir de base para hacer una revisión y “ajuste” de las especificaciones técnicas.

Para efectuar dicha tarea, se requiere una acción coordinada con el CONAVI, que permita hacer un monitoreo y un muestreo para el análisis de la compactación en condiciones debidamente controladas, donde el proceso de compactación se realice siguiendo los procedimientos correctos que rigen el diseño, transporte, colocación y compactación de la mezcla asfáltica.

5. CONCLUSIONES

- No se encontró ninguna razón técnica, ni en la extracción de muestras en el campo, ni en la ejecución de los ensayos de laboratorio; que impida realizar el control de calidad de la compactación de capas asfálticas en razón de su espesor.
- No se encontró ninguna razón técnica, que impida la realización del ensayo de laboratorio, en ninguno de los procedimientos utilizados (saturado superficie seca, ASTM D 2726; recubrir los especímenes con “parafilm”, ASTM D 1188 o el método de sumergir los especímenes en parafina, AASHTO T 275).
- Se encontró que el porcentaje de absorción determina un cambio significativo en el porcentaje de vacíos, al comparar el método de “parafilm” (ASTM D 1188) con el método saturado superficie seca (ASTM D 2726).
- En virtud de la gran variabilidad que se determinó en el porcentaje de vacíos de las capas asfálticas, no es posible hacer una revisión o “ajuste” de las especificaciones técnicas, para el control de la calidad de la compactación de capas asfálticas.

6. RECOMENDACIONES

1. Continuar aplicando la normativa técnica de la AASHTO, para la determinación en el laboratorio del porcentaje de vacíos de las capas asfálticas, o sea:
 - Seguir usando el método de extracción de núcleos con broca de diamante
 - Calcular los vacíos de la mezcla por el método saturado superficie seca (AASHTO T 166) si la absorción es menor a 2% y con el método de sumergir los especímenes en parafina (AASHTO T 275) si la absorción de agua es mayor al 2%.
2. Aplicar la normativa anterior, independientemente del espesor de la capa asfáltica.
3. Tomando como referencia la normativa internacional, y para mezclas densas convencionales, se recomienda el siguiente porcentaje de vacíos, en función de los ejes equivalentes en el carril que soporta la mayor cantidad de tráfico pesado

Ejes equivalentes (*) (millones)	Porcentaje máximo de vacíos (**)
< 4	8%
≥ 4	7%

Nota: (*) total de ejes equivalentes de 8200 kg en el carril que llevará la mayor cantidad de tráfico pesado, durante 20 años.
(**) vacíos calculados a partir de la densidad máxima teórica.

4. Por la vía de las especificaciones especiales, ya sea por parte del diseñador del pavimento o por parte de la Administración, y para proyectos específicos que así lo ameritan en virtud de las condiciones del tráfico, clima (lluvia y temperatura) y de los materiales o alguna otra consideración técnica; dicho rango de especificaciones puede llevarse a límites más estrictos (menor contenido de vacíos) en cuanto al contenido de vacíos de la mezcla asfáltica.
5. Asignar a un funcionario del CONAVI como contrapartida para lograr que en algunos proyectos, con un buen control del proceso de producción, transporte,

colocación y compactación de la mezcla asfáltica, se puedan monitorear y sirvan de base para revisar y “ajustar” si fuese del caso, las especificaciones técnicas para el porcentaje de vacíos de la capa asfáltica compactada.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes, CR-77, Costa Rica, 1978.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Consejo Nacional de Vialidad, Requisitos para mezclas asfálticas en caliente, MN-001-99, Costa Rica, 1999.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Consejo Nacional de Vialidad, Disposición general AM-01-2000, actualización del CR-77, Costa Rica, 2000.
- American Society for Testing and Materials, ASTM D 2726-00. Standard Practice for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures. American Society for Testing and Materials (ASTM). 2003 Annual book of ASTM standards, ASTM, EUA, 2003.
- American Society for Testing and Materials, ASTM D 1188-96 (Reapproved 2002). Standard Practice for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples. American Society for Testing and Materials (ASTM). 2003 Annual book of ASTM standards, ASTM, EUA, 2003.
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Procedimiento para la determinación de la gravedad específica bruta para pastillas Marshall IT-MB-01, LANAMME, Costa Rica, 2003.
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Procedimiento para la determinación de la gravedad específica máxima teórica para mezclas asfálticas IT-MB-02, LANAMME, Costa Rica, 2003.
- Willoughby, Kim y otros; Construction-related asphalt concrete pavement temperature differentials and the corresponding density differentials; Washington DOT; 2001.
- Instituto del Asfalto; Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, serie de manuals N°22 (MS-22), USA, 1992.

ANEXO I

RESUMEN: RESULTADOS DE LABORATORIOS

Tabla A1: Resumen de resultados de laboratorio.

Punto de estudio	Espesor de capa nueva (cm)	Espesor promedio de corte (cm) ● / ■	Superficie Saturada Seca				Parafina	
			Núcleos		Bloques		Núcleos	Bloques
			% Absorción de agua promedio	% Vacíos Promedio	% Absorción de agua promedio	% Vacíos Promedio	% Vacíos Promedio	% Vacíos Promedio
1	6.0	6.0 / 6.0	4.1	10.6	3.6	10.7	11.8	12.7
2	6.0	6.0 / 6.0	2.4	7.5	1.8	6.3	7.9	7.3
3	6.5	6.0 / 6.0	0.9	4.4	1.0	4.7	7.4	5.3
4	6.0	6.0 / 6.0	0.9	4.5	1.1	5.4	7.0	7.9
5	6.0	5.5 / 6.0	0.8	4.4	1.1	4.2	5.8	6.7
6	7.0	6.0 / 6.0	1.2	6.4	1.4	7.0	7.2	9.1
7	7.0	4.5 / 4.5	1.1	6.4	2.8	7.7	10.4	10.3
8	5.0	4.0 / 4.0	5.0	11.6	5.8	10.9	14.7	14.9
9	7.0	5.0 / 5.0	4.5	11.6	4.9	11.5	14.0	14.2
10	6.0	5.5 / 4.3	1.8	7.5	1.9	5.7	9.6	9.4
11	9.0	5.5 / 4.2	1.3	6.1	2.5	10.1	7.6	11.3
12	6.0	4.4 / 4.4	6.6	12.7	6.8	10.3	12.1	14.7
13	6.0	4.7 / 4.3	4.6	10.4	4.6	10.9	11.5	14.9
14	9.0	4.6 / 4.7	5.1	12.0	6.6	12.5	15.7	16.0
15	6.0	4.7 / 4.6	0.9	4.3	0.8	4.3	5.7	7.7
16	6.0	4.7 / 4.6	1.4	5.8	1.5	6.9	7.4	7.1
17	5.5	4.6 / 4.3	2.8	7.5	2.5	7.8	9.9	9.9
18	6.0	4.7 / 4.5	3.7	9.7	3.3	9.2	11.9	11.9
19	4.5	4.5 / 4.0	0.7	4.7	1.6	7.9	7.7	12.4
20	5.0	5.5 / 5.5	3.4	9.8	2.8	9.3	12.9	13.3
21	4.5	4.5 / 4.5	3.7	8.6	4.3	9.1	10.4	12.9

Tabla A1: Resumen de resultados de laboratorio (continuación).

Punto de estudio	Espesor de capa nueva (cm)	Espesor promedio de corte (cm) ● / ■	Superficie Saturada Seca				Parafina	
			Núcleos		Bloques		Núcleos	Bloques
			% Absorción de agua promedio	% Vacíos Promedio	% Absorción de agua promedio	% Vacíos Promedio	% Vacíos Promedio	% Vacíos Promedio
22	4.0	4.0 / 3.8	3.3	8.8	4.7	11.2	12.5	16.3
23	4.0	4.5 / 4.5	4.0	9.9	3.3	9.8	12.3	14.2
24	3.5	3.5 / 3.5	2.8	4.4	2.6	4.2	8.6	6.8
25	3.0	3.0 / 3.5	5.3	11.9	3.5	11.0	16.7	14.6
26	4.0	4.0 / 4.2	3.8	7.6	5.4	8.2	9.7	13.1
27	4.0	4.0 / 4.2	3.1	11.8	11.2	11.2	15.3	13.2
28	3.5	3.0 / 3.7	2.2	5.4	3.0	5.2	10.1	9.3
29	6.0	5.0 / 7.8	3.9	7.4	3.8	4.3	6.2	6.6
30	4.0	3.3 / 3.8	2.8	6.1	3.0	5.5	8.9	8.3
31	3.5	3.6 / 3.6	4.7	11.0	3.8	9.6	12.7	16.4
32	4.0	3.5 / 3.8	4.2	10.6	3.0	9.9	12.0	14.1
33	4.0	4.0 / 3.9	6.6	12.5	5.4	11.2	13.3	14.4
34	4.0	4.8 / 4.5	3.3	7.8	3.4	10.8	8.2	14.9
35	4.5	5.0 / 4.8	2.3	3.0	1.3	2.6	4.4	3.8
36	4.0	4.5 / 4.5	4.3	9.3	5.0	8.7	11.9	12.6
37	3.0	3.2 / 3.0	8.1	13.3	7.2	13.2	20.3	21.7
38	3.5	3.5 / 4.0	5.5	12.8	4.8	8.7	13.9	13.8
39	3.0	3.2 / 3.2	3.4	8.5	4.9	6.6	11.7	10.0
40	3.5	3.2 / 3.5	2.7	10.2	2.1	7.3	11.3	10.5
41	4.5	4.0 / 5.0	3.7	9.4	3.0	7.7	10.6	11.0

ANEXO 2

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE ENSAYO

METODO: Superficie saturada seca (ASTM D 2726-00)

Tramo 1: Barrio Escalante			
Número de especímen	% vacíos	% absorción de agua	altura de corte (mm)
1	10.0	5.6	35.79
2	10.2	6.0	36.63
3	8.0	4.5	36.41
4	8.5	5.5	35.54
5	8.2	5.2	37.21
6	8.1	5.1	36.70
7	7.6	4.1	36.67
Promedio	8.7	5.1	36.4
Tramo 2: San Isidro de Heredia			
Número de especímen	% vacíos	% absorción de agua	altura de corte (mm)
8	4.3	2.8	35.37
9	3.5	2.7	37.60
10	3.7	2.6	35.28
11	3.5	2.9	35.67
12	3.6	2.8	34.75
13	4.3	2.6	35.82
14	4.5	2.9	35.58
Promedio	3.9	2.7	35.7
Tramo 3: Moravia - Ruta 32			
Número de especímen	% vacíos	% absorción de agua	altura de corte (mm)
15	5.4	3.0	40.29
16	7.0	3.5	39.82
17	5.0	2.9	40.01
18	5.4	2.8	39.76
19	5.2	2.8	40.29
20	4.8	3.8	39.93
21	5.6	2.9	39.59
Promedio	5.5	3.1	40.0

METODO: Recubrir los especímenes con parafilm (ASTM D 1188-96 Reapproved 2002)

Tramo 1: Barrio Escalante		
Número de espécimen	% vacíos	altura de corte (mm)
22	10.8	35.73
23	11.4	35.11
24	13.0	35.51
25	11.1	36.58
26	12.0	36.24
27	10.6	36.41
28	11.1	36.79
Promedio	11.4	36.1
Tramo 2: San Isidro de Heredia		
Número de espécimen	% vacíos	altura de corte (mm)
29	5.5	35.08
30	6.2	36.05
31	4.9	35.47
32	5.1	36.55
33	4.7	35.90
34	5.0	35.52
35	5.7	35.96
Promedio	5.3	35.8
Tramo 3: Moravia - Ruta 32		
Número de espécimen	% vacíos	altura de corte (mm)
36	9.9	40.04
37	8.2	40.17
38	10.1	39.99
39	9.0	40.33
40	10.9	
41	8.1	39.98
42	6.3	39.81
Promedio	8.9	40.1

METODO: Sumergir los especímenes en parafina (AASHTO T 275-91 (2000))

Tramo 1: Barrio Escalante		
Número de especímen	% vacíos	altura de corte (mm)
43	8.5	36.87
44	8.3	36.49
45	9.0	35.80
46	8.7	35.75
47	7.8	35.44
48	7.6	35.26
49	5.5	35.16
Promedio	7.9	35.8
Tramo 2: San Isidro de Heredia		
Número de especímen	% vacíos	altura de corte (mm)
50	2.7	36.40
51	2.9	35.21
52	3.1	35.94
53	3.4	35.87
54	2.9	34.78
55	2.7	35.67
56	2.7	35.72
Promedio	2.9	35.7
Tramo 3: Moravia - Ruta 32		
Número de especímen	% vacíos	altura de corte (mm)
57	5.3	39.77
58	4.9	40.14
59	5.7	40.00
60	7.0	40.10
61	5.8	40.04
62	5.7	40.01
63	7.0	39.70
Promedio	5.9	40.0

INDICE GENERAL

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ESQUEMA EXPERIMENTAL.....	1
2.1 Etapa N°1	1
2.2 Etapa N°2	7
2.3 Descripción del trabajo de campo y laboratorio (etapa N°1).....	9
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	13
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA COMPACTACIÓN DE CAPAS ASFÁLTICAS	15
5. CONCLUSIONES	15
6. RECOMENDACIONES	16
7. BIBLIOGRAFÍA	17