

# Efecto del agua atrapada en mezclas asfálticas, fase 2

Ing. Luis Guillermo Loria Salazar  
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales  
Universidad de Costa Rica

## 1. Introducción

En los últimos 24 meses la inspección de plantas y la auditoría de procesos del LanammeUCR detectó un caso en particular de una empresa constructora que en dos plantas asfálticas ubicadas en sitios distintos producía mezcla asfáltica con un alto grado de ebullición, lo cual causó duda del efecto de este fenómeno respecto de las propiedades de la mezcla asfáltica.

En general la bibliografía internacional recomienda un porcentaje máximo de contenido de agua atrapada de 0.5% por peso de mezcla, lo cual parece que para las condiciones climáticas de Costa Rica no aplica adecuadamente debido a que algunas de estas mezclas ebullentes cumplen sin problemas este requisito y en el sitio de obra tuvieron problemas para ser compactadas y posteriormente tuvieron un mal desempeño en sitio.

En la primera etapa de este proyecto, se analizó la producción de 4 plantas asfálticas, durante 1 año, y se determinó que, el principal factor que determina la cantidad de agua atrapada en la mezcla asfáltica, se encuentra directamente relacionado con el proceso de producción de planta, en particular, respecto a la velocidad de producción. En cuanto a otros factores, como la absorción de agua de los agregados, así como el contenido de agua de los apilamientos, se determinó, que son controlados por el proceso de mezclado.

Este estudio pretende determinar el efecto del agua atrapada en la mezcla asfáltica sobre otras propiedades de ésta, a saber: resistencia retenida la tensión diametral, resistencia retenida al módulo resiliente y envejecimiento del ligante.

También se desea reafirmar cuáles son las principales variables, dentro del proceso productivo en la planta asfáltica, que inciden directamente en el valor remanente del contenido de agua.

El estudio, en esta segunda etapa, abarcó el análisis de mezclas densas producidas en las siguientes plantas asfálticas:

Centro de producción	Marca	Capacidad	Tipo
Planta 1	ASTECC	160 ton/hr	Continuo
Planta 2	ADM	160 ton/hr	Bache

Tabla No.1: Características de las plantas asfálticas analizadas

Los principales problemas que puede tener una mezcla con contenidos de humedad en rangos altos (que se especificarán mas adelante) son los siguientes:

- La mezcla no alcanza los niveles de compactación especificados.
- La mezcla se desplaza al intentar compactarla.

Finalmente, se pretende verificar que el valor de especificación máximo para el contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica, propuesto en mayo del 2004 al MOPT-CONAVI, fijado en 0,30% por

peso de mezcla, es adecuado, o si existe fundamento experimental para disminuirlo.

### 1.1 Esquema metodológico

Para cada una de las plantas en estudio se tomó una serie de muestras de agregado de cada apilamiento, asfalto en tanque de almacenamiento, mezcla asfáltica en boca de tambor, bloques compactados extraídos del sitio de obra y núcleos de mezcla asfáltica compactada, con el objetivo de determinar para cada una el contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica, la humedad de los apilamientos, el contenido de absorción de agua de cada fracción de la granulometría, la resistencia retenida a la tensión diametral y el módulo resiliente de mezcla compactada extraída de sitio y remoldeada en el laboratorio.

La determinación del contenido de agua atrapada en la mezcla se efectuó mediante la norma ASTM D 1461.

El esquema metodológico se presenta en la Figura No. 1.

### 2. Evaluación de resultados de ensayos de caracterización del proceso de producción de mezcla asfáltica

La Tabla No.2 presenta el promedio y desviación estándar general para las 36 muestras analizadas.

La Tabla No. 3 presenta un resumen de resultados promedio de todos los ensayos ejecutados a cada muestra analizada.

Del gráfico No. 1 se puede determinar que a lo largo del tiempo del estudio realizado, ha habido variaciones importantes del contenido de agua atrapada, que no corresponden a un patrón fijo, sino probablemente a las condiciones propias del proceso de producción de

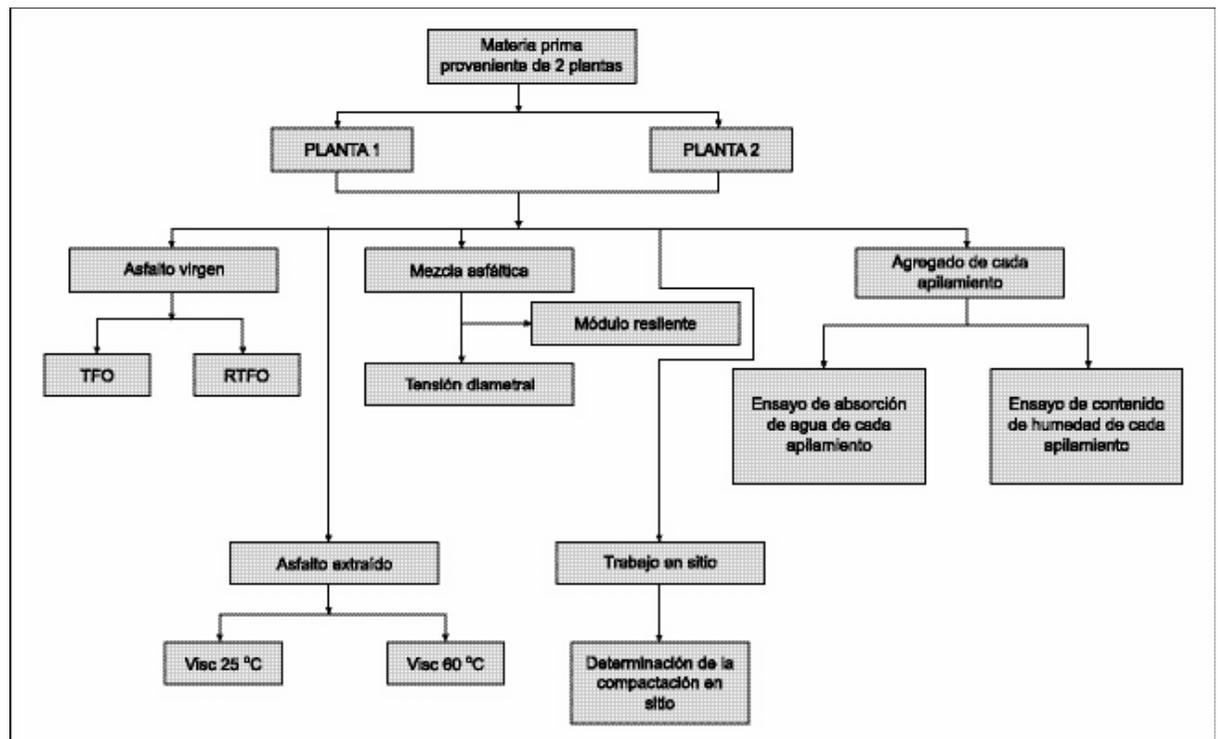


Figura No. 1: Esquema metodológico

	% Humedad apilamientos	Gbs	Absorción	Módulo a 1500 N (MPa)	Módulo a 2500 N (MPa)	% contenido de agua	TD Seca	TD Condicionada
Promedio	3,7	2,649	2,1	4736	4393	0,07	1263	1070
Desv. Est.	1,3	0,092	0,9	1572	1596	0,05	202	137
Rango sup general al 90 %	5,35	2,76	3,11	6637	6322	0,14	1507	1236
Rango inf general al 90%	2,12	1,03	1,03	2835	2464	0,01	1018	904

Tabla No. 2: Promedio y desviación estándar general para todos los casos analizados

	% Humedad apilamientos	Gbs	Absorción	Módulo a 1500 N (MPa)	Módulo a 2500 N (MPa)	% contenido de agua	TD Seca	TD Cond.
Promedio	2,7	2,642	2,1	3180	2804	0,10	1073	1008
Desv. Est.	0,8	0,125	1,5	1233	1092	0,07	11	31
Rango sup general al 90 %	3,66	2,79	3,94	4670	4124	0,18	1087	1046
Rango inf general al 90%	1,77	2,49	0,36	1690	1484	0,02	1059	970

	% Humedad apilamientos	Gbs	Absorción	Módulo a 1500 N (MPa)	Módulo a 2500 N (MPa)	% contenido de agua	TD Seca	TD Cond.
Promedio	5,0	2,653	2,0	5513	5188	0,06	1326	1091
Desv. Est.	0,5	0,077	0,1	1082	1151	0,03	195	155
Rango sup general al 90 %	5,58	2,75	2,14	6822	6579	0,10	1562	1278
Rango inf general al 90%	4,35	2,56	1,90	4205	3796	0,02	1090	903

Tabla No. 3: Resumen de resultados promedio

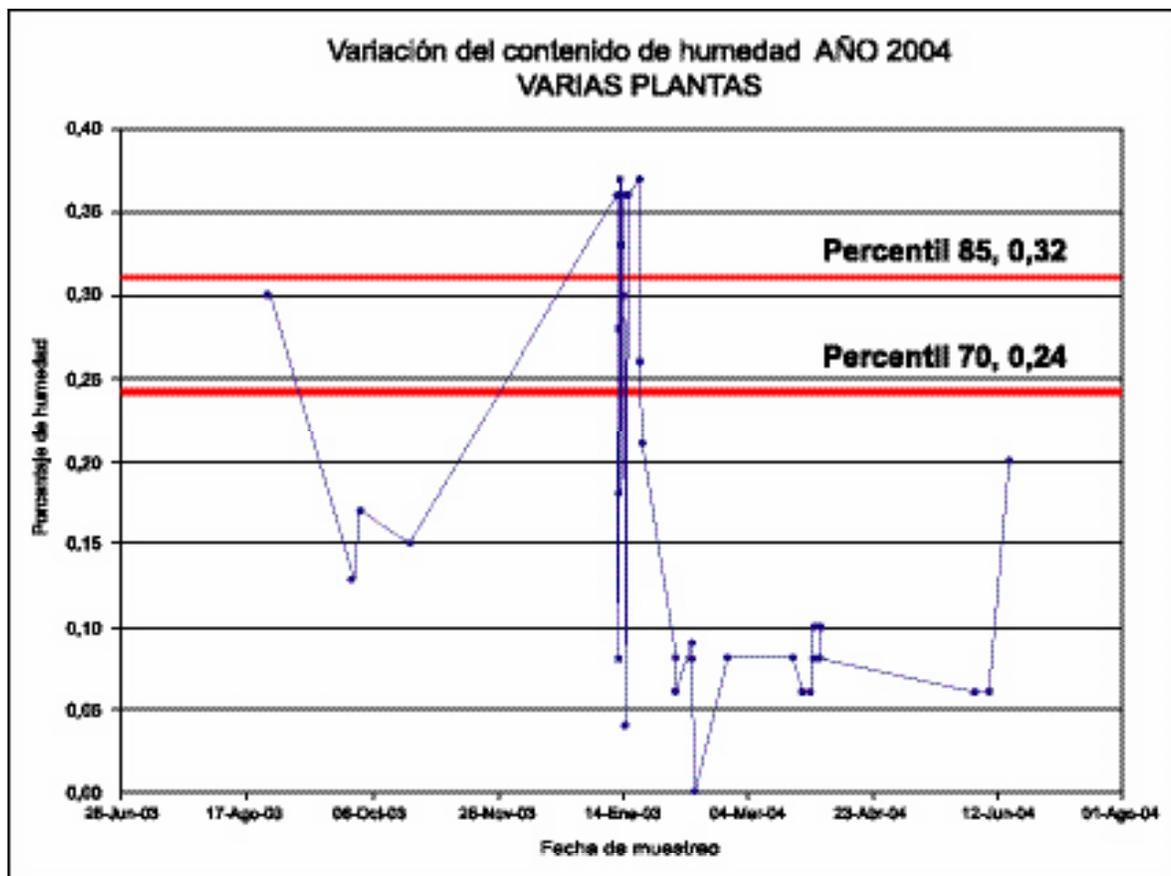


Gráfico No. 1: Variación del contenido de agua para todas las muestras estudiadas

Año	2001	2002	2003	2004
Promedio general	0,15	0,19	0,19	0,17
Desv. Est. General	0,09	0,10	0,07	0,12
No. de datos	34	43	11	36
Rango sup general al 90%	0,26	0,31	0,31	0,31
Rango inf general al 90%	0,04	0,07	0,07	0,02

Tabla No. 4: Resultados de contenido de agua promedio: período 2001-2004

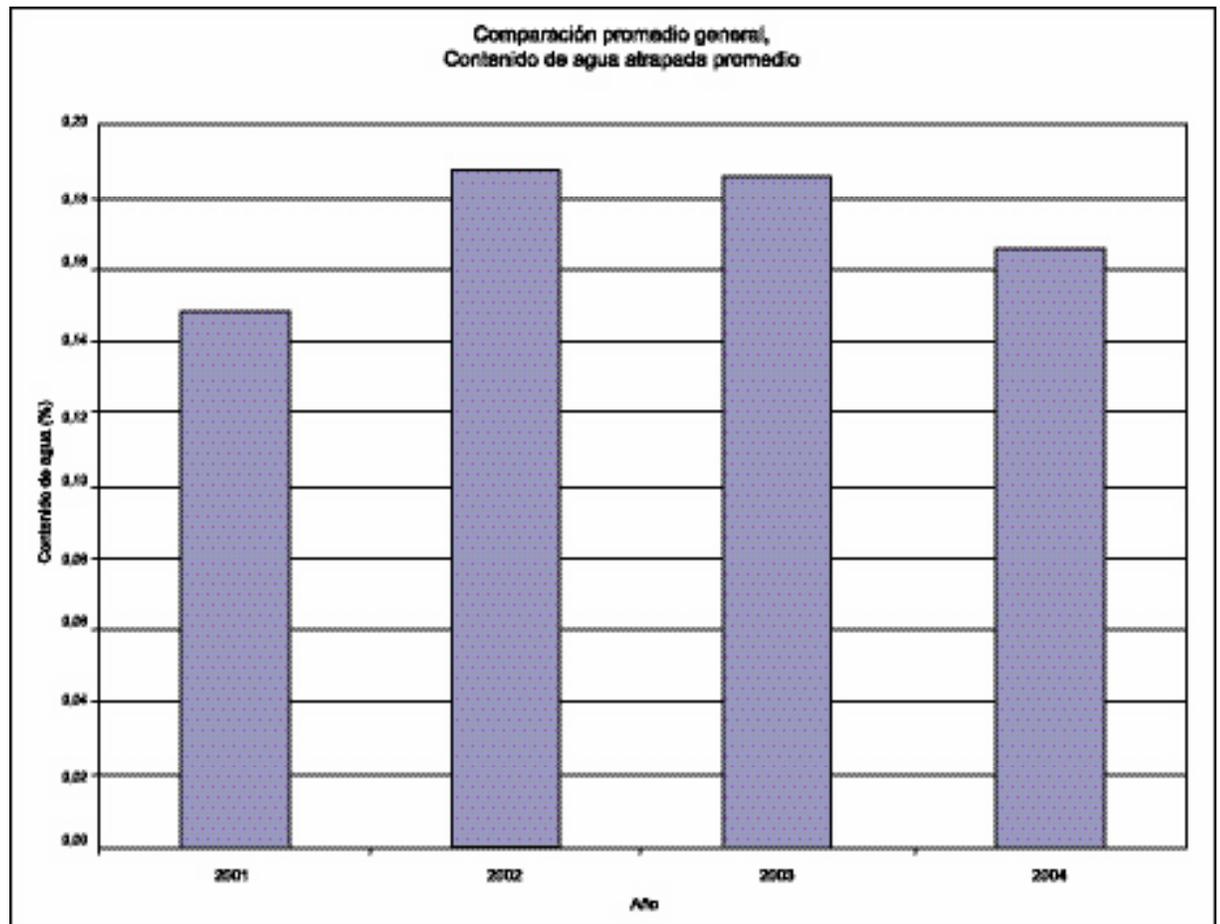


Gráfico No. 2: Variación del contenido de agua promedio. Período 2001-2004

cada planta asfáltica. El promedio general esperado se aproxima mediante la línea roja.

### 2.1 Comparación de resultados de contenido de agua atrapada en los últimos 4 años

El informe que se presenta, se planteó formalmente en el año 2002, sin embargo, el LanammeUCR tiene una base de datos de contenido de agua desde el año 2001.

Dado lo anterior, se considera conveniente e ilustrativo, analizar cómo ha sido la variación del contenido de agua atrapada en mezclas en el período indicado, no sin antes reafirmar, que en mezcla en donde el contenido de agua ha tenido valores superiores a 0,30%, se han presentado problemas de compactación en el sitio de la obra.

A continuación se presenta un análisis por percentiles, al nivel del 70% y 85%, para cada año analizado.

Año	2001	2002	2003	2004
Percentil 70	0,17	0,23	0,20	0,24
Percentil 85	0,22	0,30	0,29	0,32

Tabla No. 5: Análisis por percentiles para el contenido de agua promedio: período 2001-2004

Tanto en el resumen general, como en los percentiles, se puede determinar una tendencia en el último año, a que el valor del contenido de agua promedio se mantenga cercano a 0,20%, sin embargo, hay momentos en que la producción de mezcla asfáltica, particularmente en el período comprendido entre diciembre 2003 y febrero del 2004, presenta varios valores mayores a 0,30%.

Al analizar los resultados particulares para cada una de las plantas se pueden determinar algunos aspectos relevantes, como los indicados a continuación:

- Se puede concluir que hay evidencia de que aún predomina una gran variación del contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica, debido a que no se ha implementado una normativa que regule este parámetro, dentro del proceso productivo. Sin embargo, hay una tendencia a que el valor del contenido de agua atrapada disminuya.

- El porcentaje de absorción de agua combinado de los agregados tiene un rango de variación en el tiempo, inferior al analizado en la fase 1 de este proyecto.

- El rango de variación del contenido de agua atrapada, al 90% de confianza, se encuentra entre un 0,01% y un 0,14% o sea, un 0,13%. Este valor es mucho menor al rango encontrado en la fase 1, entre 0,01% y 0,41%. Incluso en la fase 1, para una de las plantas, el rango de variación fue de 0,68%.

- Los rangos de variación del contenido de agua de los apilamientos denotan la falta de protección que tienen éstos en contra del agua de lluvia, lo cual

debería provocar disminuciones importantes en la tasa de producción de ese día.

Además, se realizaron los ensayos de módulo de resiliencia y tensión diametral retenida en todas las muestras y en algunos casos, el ensayo de viscosidad absoluta a 60 °C de asfalto extraído de mezcla de planta. Los datos se encuentran en las siguientes tablas:

Planta	Módulo promedio, Mezcla remoldeada	Módulo promedio, Muestra de campo	Relación entre módulos
Sánchez Carvajal	4950	1681	34%
	3637	1407	39%
	3207	2022	63%
Santa Fe	3811	1568	41%
	3912	2465	63%
	6417	1800	28%
	6764	2549	38%
	4776	3030	63%
	4307	1989	46%

Tabla No. 6: Módulo resiliente promedio

Planta	Tensión diametral sin condicionar	Tensión diametral condicionada	Resistencia retenida a la tensión diametral
Sánchez Carvajal	1037	835	81%
	1065	986	93%
	1081	1030	95%
Santa Fe	1142	1110	97%
	1174	1065	91%
	1287	1058	82%
	1421	1249	88%
	1507	1079	72%
	1528	1258	82%

Tabla No. 7: Ensayo de resistencia retenida a la tensión diametral

### 3. Análisis por percentiles de los resultados de contenido de agua

Se utilizó el análisis por percentiles como una herramienta estadística para poder determinar un valor de especificación de contenido de agua atrapada que esté acorde con las condiciones del país.

Dicho análisis se efectuó a todo el conjunto de muestras tomadas y también a cada una de las plantas

individualmente, dadas las grandes diferencias entre los valores de contenido de agua atrapada, entre ellas.

Percentil	Contenido de agua (%)
70	0,24
85	0,32

Tabla No.8: Resultado general del análisis por percentiles (todos los resultados)

Planta	Percentil	Contenido de agua (%)
MECO-Bagaces	70	0,36
	85	0,36
MECO-Barranca	70	0,35
	85	0,36
Sánchez Carvajal	70	0,17
	85	0,20
Santa Fé-Guápiles	70	0,08
	85	0,09
Pedregal-Belén	70	0,08
	85	0,10

Tabla No.9: Resultado del análisis por percentiles para cada planta analizada

#### 4. Determinación de un modelo de análisis de varianza para el contenido de agua atrapada

Con el objetivo de determinar cuáles son los principales factores que afectan el valor remanente del contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica, se ha efectuado un análisis de varianza. Para realizar dicho análisis, se unieron los datos de la fase 1 con los de la fase 2.

Las variables contempladas dentro del análisis de varianza son las siguientes:

- Contenido de agua ponderada de los apilamientos.
- Porcentaje de absorción de agua de los agregados.
- Planta asfáltica particular (proceso de secado).

Los resultados del análisis de varianza se muestran a continuación:

Efecto sobre Contenido de agua atrapada	Contenido de agua de los apilamientos	Porcentaje de absorción de agua del agregado	Planta asfáltica (efecto del proceso de producción)	Interacción
	NO	NO	SI (**)	NO

Tabla No. 10: Evaluación de significancia estadística para cambios en el contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica (\*)

(\*) Análisis de varianza llevado a cabo para cada fuente de agregado, con un nivel de confianza estadística del 90%

(\*\*) Efectos significativos con un nivel de confianza estadística de más de 99%

El análisis anterior se efectuó para todo el rango de muestras ensayadas.

Por lo tanto, hay evidencia estadística con un 90% de confianza, de que el contenido de agua atrapada en la mezcla se ve principalmente afectado por el proceso de producción de cada planta en particular, el cual tiene incluido el ciclo de secado de los agregados dentro del tambor mezclador, el tiempo en que se mezcla dicho agregado con el asfalto y las temperaturas de trabajo del tambor mezclador.

#### 4.1 Evaluación de significancia estadística para el ensayo de resistencia a la tensión diametral. Mezclas provenientes de las plantas N° 1 y N° 2.

El análisis de varianza que se presenta se realizó con el objetivo de determinar cuáles son las variables que afecta el ensayo de resistencia a la tensión diametral. Se analizaron las variables planta productora de mezcla y contenido de agua atrapada en los rangos de 0,00 a 0,07 y de 0,08 a 0,16. El resultado del análisis se presenta en la siguiente tabla:

Efecto sobre la resistencia a la tensión diametral	Especímenes	Planta	Rango de contenido de agua atrapada	Interacción
	Sin condicionar	SI	SI	NO
	Condicionados	NO	SI	NO

Tabla No. 11: Significancia estadística para la resistencia a la tensión diametral

De la tabla anterior se desprende que todos los factores son significativos para el ensayo de módulo resiliente.

Adicionalmente se realizó un análisis por contrastes para determinar si contenidos de agua atrapada mayores determinan resistencias a la tensión diametral menores. La conclusión es que no hay evidencia estadística suficiente para afirmar que los valores de tensión diametral disminuyen si el contenido de agua aumenta.

4.2 Evaluación de significancia estadística para el ensayo de módulo resiliente a la tensión diametral. Mezclas provenientes de las plantas N° 1 y N° 2.

Al igual que el caso anterior, se realizó un análisis de varianza con el objetivo de determinar cuáles son las variables que afectan el ensayo de módulo resiliente a la tensión diametral, en mezclas remoldeadas en el laboratorio, así como para muestras extraídas del sitio de obra.

Se analizaron las variables planta productora de mezcla y contenido de agua atrapada en los rangos de 0,00 a 0,07 y de 0,08 a 0,16. El resultado del análisis se presenta en la siguiente tabla:

Efecto sobre la resistencia a la tensión diametral	Especímenes	Planta	Rango de contenido de agua atrapada	Interacción
	Remoldeados	SI	SI	NO
	Extraídos de sitio	SI	SI	SI

Tabla No. 12: Significancia estadística para cambios en el módulo resiliente a la tensión diametral

(\*) Análisis de varianza llevado a cabo para cada fuente de agregado, con un nivel de confianza estadística del 90%

(\*\*) Efectos significativos con un nivel de confianza estadística de más de 99%

De la tabla anterior se desprende que todos los factores son significativos para el ensayo de módulo resiliente.

Adicionalmente, se realizó un análisis por contrastes para determinar si conforme disminuye el contenido de agua atrapada, el valor del módulo aumenta. La conclusión es que hay evidencia de que los valores de módulo resiliente a la tensión diametral en muestras con menor contenido de agua, son mayores, para el rango de datos analizado, para mezclas remoldeadas.

En el caso de núcleos de sitio, no existe suficiente evidencia estadística para determinar que el módulo disminuye conforme aumenta el contenido de agua atrapada.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

En cuanto a la variación del contenido de agua de los apilamientos, el porcentaje de absorción de agua del agregado y el contenido de agua atrapada de la mezcla asfáltica, se puede concluir lo siguiente:

- En general, hay evidencia de que la dispersión del contenido de agua ha disminuido, respecto de los rangos de variación de la fase 1 de este proyecto.

- Se reafirma la conclusión de la fase 1 de que contenidos de agua atrapada superiores a 0,30%, provocan problemas de compactación y de trabajabilidad de la mezcla.

- El porcentaje de absorción de agua de los agregados es un parámetro cuya dispersión ha disminuido. Aunque esta propiedad del agregado no evidencia afectar el contenido de agua atrapada en la mezcla según se determinó, sí afecta el potencial de absorción de asfalto, lo cual afectará otras propiedades de la mezcla asfáltica.

- Se evidencia una tendencia de las plantas, a mantener el porcentaje de humedad de los apilamientos, en un rango inferior a 5,0%, lo cual es una recomendación típica de los constructores de plantas asfálticas para evitar problemas en la producción. Este es un aspecto

que debe estudiarse a fondo, en cuanto a su incidencia respecto del proceso de producción, debido a que en condiciones de mucha lluvia, detectadas en la fase 1 de este proyecto, el valor de humedad de apilamientos puede alcanzar valores tan altos como 8%.

- En época lluviosa, se sigue presentando una alta variación del contenido de agua de los apilamientos, lo cual reafirma, una vez más, la necesidad de que las plantas cuenten con sistemas de protección para los apilamientos contra el agua de lluvia.

Para el análisis por percentiles se determinó lo siguiente:

- Hay evidencia de que un valor de contenido de agua de 0,30%, presentado como una propuesta de especificación al MOPT-CONAVI, puede ser fácilmente alcanzado por las plantas asfálticas analizadas.

En cuanto a los modelos de análisis de varianza realizados, se determinó lo siguiente:

- El contenido de agua de los apilamientos y el porcentaje de absorción de agua del agregado no evidencian con un 90% de confianza ser significativos en el contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica.

- El factor determinante en el contenido de agua atrapada, con un 99% de confianza estadística es el proceso de secado de la planta asfáltica que construye la mezcla. Esto se relaciona directamente con el proceso de secado dentro del tambor mezclador, el cual debe estar calibrado para ponderar el efecto de mayores contenidos de agua en los apilamientos, lo cual incidirá en una reducción de la tasa de producción.

- Con los datos recabados, se ha encontrado evidencia estadística de que el agua atrapada en la mezcla asfáltica y la planta de producción, afectan el

módulo de resiliencia a la tensión diametral y el valor de resistencia a la tensión diametral de las mezclas asfálticas analizadas.

Notas:

(1) Las conclusiones aquí expuestas se refieren al marco experimental ya explicitado en cuanto a los tipos de agregados, ligantes asfálticos analizados y plantas asfálticas estudiadas.

## 6. Bibliografía

Asphalt Institute

Superpave Asphalt Binder Specification  
Asphalt Institute, 1998

Asphalt Institute

Superpave Mix Design (SP-2)  
Asphalt Institute, 2001

Asphalt Institute

The Asphalt Handbook  
Asphalt Institute, 1989

Brown Stephen

The Shell Bitumen Handbook  
Editorial Shell Bitumen, 1990

Corona Ballesteros

Glosario Especializado de Terminología Asfáltica  
Asociación Mexicana del Asfalto  
Editorial Asociación Mexicana de Asfalto, 2002

Kandhal, Roberts y otros

Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and  
Construction  
NAPA, 1996

Walker, Dwight

Control de calidad en el proceso de producción de  
mezcla asfáltica  
Asphalt Institute, 2002