



REPORTE DE INVESTIGACIÓN LM- PI - PV- IN- 06 D- 02

# Efecto del agua atrapada en mezclas asfálticas en caliente

INFORME FINAL

FASE 2

Investigador principal

**Ing. Guillermo Loría**

Investigador asociado

**Ing. Mario Arce**

**Quím. Luis Diego Moreira**

Junio 2005

## **Efecto del agua atrapada en mezclas asfálticas en caliente, fase 2**

### **Autores:**

Investigador principal

**Ing. Luis Guillermo Loría Salazar**

Licenciado en Ingeniería Civil  
LANAMME, Universidad de Costa Rica  
[lgloria@lanamme.ucr.ac.cr](mailto:lgloria@lanamme.ucr.ac.cr)

Investigador asociado

**Ing. Mario Arce Jiménez**

Licenciado en Ingeniería Civil  
LANAMME, Universidad de Costa Rica  
[marce@lanamme.ucr.ac.cr](mailto:marce@lanamme.ucr.ac.cr)

Investigador asociado

**Quím. Luis Diego Moreira Vargas**

Bachiller en Química  
LANAMME, Universidad de Costa Rica  
[ldmoreira@lanamme.ucr.ac.cr](mailto:ldmoreira@lanamme.ucr.ac.cr)

### **Resumen**

En los últimos 24 meses la inspección de plantas del LANAMME 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 del contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica respecto de algunas de sus propiedades. Personal de campo determinó que mezclas asfálticas con valores de este parámetro superiores a 0.30% presentan problemas de trabajabilidad y compactación en sitio. En general la bibliografía internacional recomienda un porcentaje máximo de contenido de humedad atrapada de 0.5% por peso de mezcla. Primeramente, se determinó que para Costa Rica lo ideal es fijar este parámetro en 0.3% máximo. Además, se determinó que el aumento en el porcentaje de agua atrapada en la mezcla asfáltica implica una disminución del módulo de resiliencia a la tracción indirecta y la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica.

# EVALUACION DEL CONTENIDO DE AGUA ATRAPADA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

## 1. INTRODUCCIÓN

Hace cuatro años meses la inspección de plantas y la auditoría de procesos del LANAMME 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 extramadamente lluviosa de Costa Rica (entre 1200 hasta 9000 mm al año) no aplica adecuadamente debido a que algunas de estas mezclas ebullantes cumplen con este requisito y en el sitio de obra tuvieron serios problemas para ser compactadas y posteriormente, tuvieron un mal desempeño en sitio. Incluso una nueva especificación costarricense indica la aceptación de valores hasta 1.0%.<sup>i</sup>

En una primera experiencia, 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 a la tensión diametral y el módulo resiliente a la tensión indirecta.

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 ha abarcado desde su inicio el análisis de mezclas densas producidas en 6 plantas asfálticas. En esta etapa se analizaron dos plantas adicionales. Todas las plantas analizadas son continuas.

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

- La mezcla no alcanza los niveles de compactación especificados <sup>ii</sup>.
- La mezcla se desplaza al intentar compactarla. <sup>iii</sup>

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 a la agencia estatal de carreteras (MOPT-CONAVI), fijado en 0.30%<sup>iv</sup> por peso de mezcla, es adecuado, o si existe fundamento experimental para disminuirlo.

## **1.1 Primera etapa del estudio**

La primera etapa de este estudio inició en el año 2001, cuando se detectaron los primeros problemas de desempeño de mezclas asfálticas por exceso de agua atrapada. En esta etapa se realizaron 88 muestreos, en los cuales se realizó el ensayo de contenido de humedad atrapada. Además, en 20 de las muestras se llevó material al laboratorio para determinar qué factores del proceso productivo determinan el contenido de agua atrapada de la mezcla asfáltica, así como para determinar el efecto del agua atrapada sobre las siguientes propiedades de la mezcla: Estabilidad/flujo Marshall y contenido de vacíos.

De esta primera experiencia, se determinó que el principal factor que determina el contenido de agua atrapada es el proceso de mezclado en el tambor mezclador, en contraposición al contenido de agua de los apilamientos y el porcentaje de absorción del agregado, que resultaron no significativos.

Además, no se pudo determinar un efecto significativo del contenido de agua sobre las propiedades Marshall de la mezcla asfáltica, por lo que se replanteó el estudio.

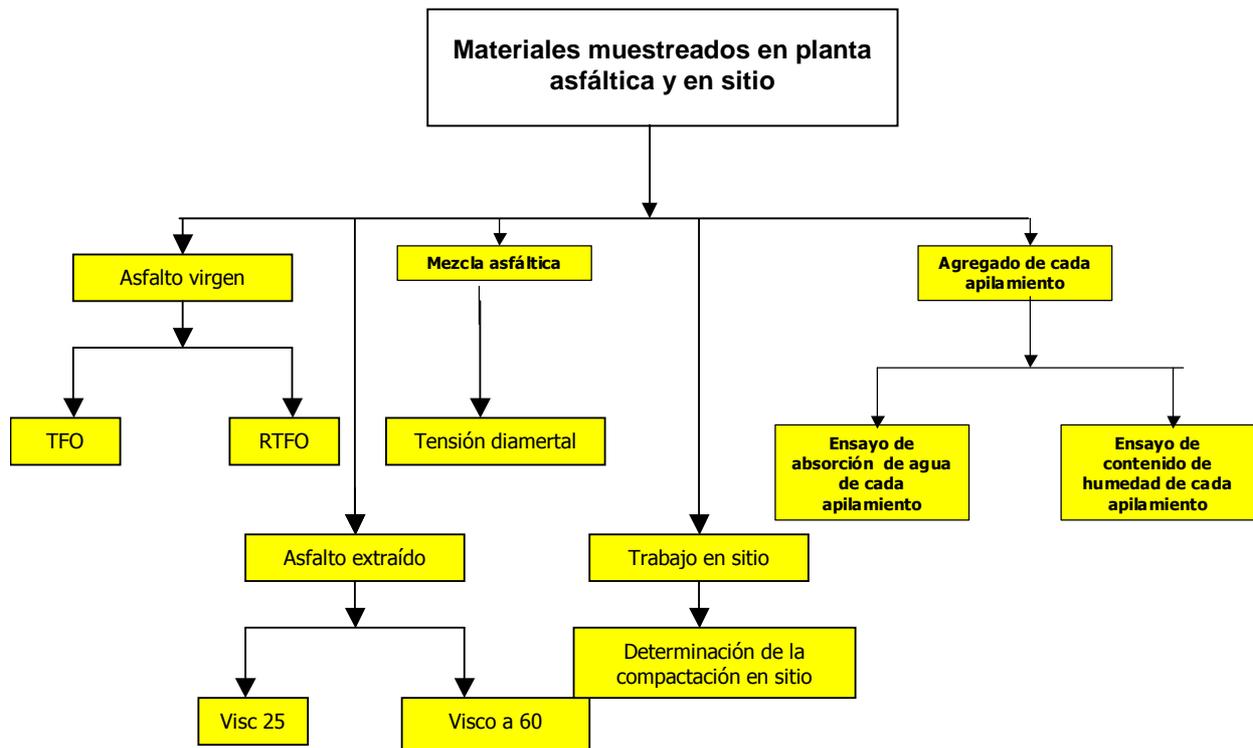
## **1.2 Esquema metodológico**

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 remodelada en el laboratorio<sup>v</sup>.

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

El esquema metodológico se presenta a continuación:

Figura No. 1: **Esquema metodológico**



## 2. EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE CARACTERIZACION DEL PROCESO DE PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA

La Tabla No.1 presenta el promedio y desviación estándar general para las muestras analizadas.

**Tabla No.1: 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 Condicionada
Promedio	3,7	2,649	2,1	4736	4393	0,07	1263	1070
Dev. Estánd.	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	2,54	1,03	2835	2464	0,01	1018	904

La Tabla No. 2 presenta un resumen de resultados promedio de todos los ensayos ejecutados a cada muestra analizada.

**Tabla No. 2: Resumen de resultados promedio**

### Planta 1

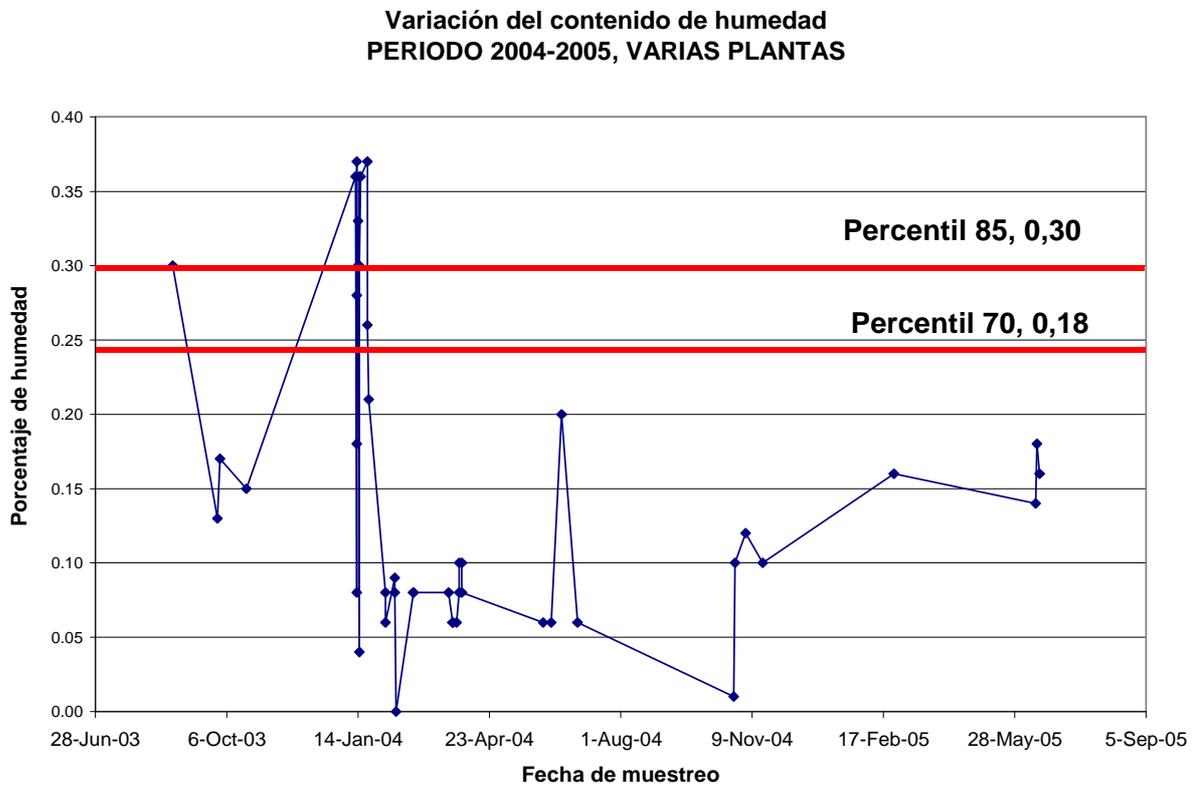
	% Humedad apilamientos	Gbs	Absorción	Módulo a 1500 N (MPa)	Módulo a 2500 N (MPa)	% contenido de agua	TD Seca	TD Condicionada
Promedio	2,7	2,642	2,1	3180	2804	0,10	1073	1008
Dev. Estánd.	0,8	0,125	1,5	1233	1092	0,07	11	31
Rango sup general al 90%	3,66	2,79	3,94	4670	4124	0,18	1087	1046
Rango inf general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

### Planta 2

	% Humedad apilamientos	Gbs	Absorción	Módulo a 1500 N (MPa)	Módulo a 2500 N (MPa)	% contenido de agua	TD Seca	TD Condicionada
Promedio	5,0	2,653	2,0	5513	5188	0,06	1326	1091
Dev. Estánd.	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

Para complementar el estudio, se tomaron 4 muestras adicionales en otra planta, a las que solo se les realizaron los ensayos de contenido de agua atrapada, tensión diametral y módulo de resiliencia a la tensión diametral.

Figura No. 2: Variación del contenido de agua para todas las muestras estudiadas



Del gráfico anterior 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 cada planta asfáltica. Las líneas rojas indican dos posibilidades de especificación de acuerdo con los percentiles 70 y 85 de todas las muestras analizadas.

Adicionalmente a los resultados anteriores, se tomaron muestras para determinar el contenido de agua atrapada en la mezcla en otras tres plantas, adicionales a las indicadas en el marco experimental.

### 3.1 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 LANAMME tiene una base de datos de contenido de agua desde el año 2001.<sup>vi</sup>

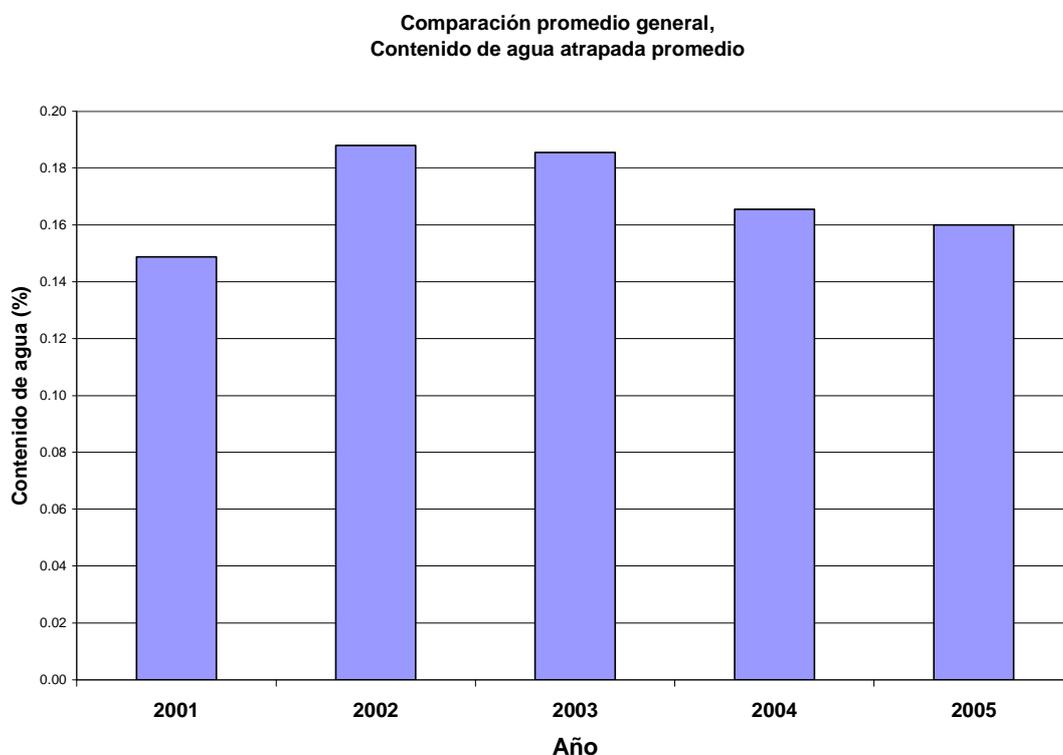
Dada lo anterior, se considera conveniente e ilustrativo, analizar cómo ha sido la variación del contenido de agua atrapada en mezclas en el período indicado, no sin antes reafirmar, que en mezcla en donde el contenido de agua ha tenido valores superiores a 0.30%, se han presentado problemas de compactación en el sitio de la obra.

**Tabla No. 3: Resultados de contenido de agua promedio: período 2001-2005.**

<b>Año</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
Promedio general	0.15	0.19	0.19	0.17	0.16
Desv. Est. General	0.09	0.10	0.07	0.12	0.02
<b>No. de datos</b>	<b>34</b>	<b>43</b>	<b>11</b>	<b>36</b>	<b>4</b>
Rango sup general al 90%	0.26	0.31	0.31	0.31	0.18
Rango inf general al 90%	0.04	0.07	0.07	0.02	0.14
Percentil 70	<b>0.17</b>	<b>0.23</b>	<b>0.20</b>	<b>0.24</b>	<b>NA</b>
Percentil 85	<b>0.22</b>	<b>0.30</b>	<b>0.29</b>	<b>0.32</b>	<b>NA</b>

NA: No aplica

Figura No. 3: Variación del contenido de agua promedio. Período 2001- 2004.



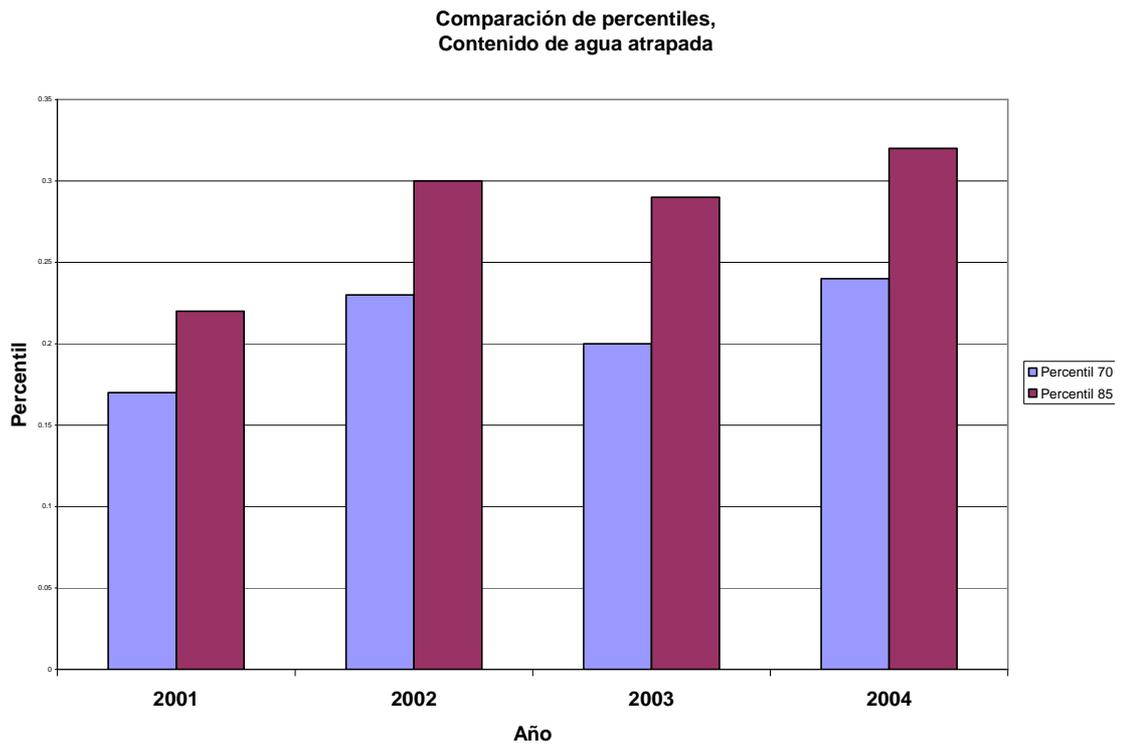
A continuación se presenta un análisis por percentiles, al nivel del 70% y 85%, para cada año analizado.

**Tabla No. 4: Análisis por percentiles para el contenido de agua promedio: período 2001-2005.**

<b>Año</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004-2005</b>
Percentil 70	0.17	0.23	0.20	0.15
Percentil 85	0.22	0.30	0.29	0.30

El siguiente gráfico muestra la variación de los percentiles 70 y 85 para las poblaciones analizadas en el período 2001-2004.

Figura No. 4: Variación de percentiles del 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, se presentan varios valores mayores a 0.30%.

La siguiente planta indica el resumen de resultados de contenido de agua para todas las plantas estudiadas.

**Tabla No. 5: Resumen de resultados de contenido de agua atrapada para todas la plantas estudiadas**

Número de muestra	Porcentaje agua en la mezcla	Planta de origen
1	0.14	PLANTA 1
2	0.18	
3	0.16	
4	0.36	PLANTA 2
5	0.37	
6	0.33	
7	0.30	
8	0.36	
9	0.26	
10	0.28	
11	0.30	
12	0.36	
13	0.37	
14	0.21	
15	0.06	PLANTA 3
16	0.06	
17	0.06	
18	0.08	
19	0.10	
20	0.10	
21	0.08	
22	0.06	PLANTA 4
23	0.01	
24	0.10	
25	0.12	
26	0.10	
27	0.30	
28	0.13	
29	0.17	
30	0.15	
31	0.06	
32	0.06	
33	0.20	
34	0.08	
35	0.18	PLANTA 5
36	0.16	
37	0.08	
38	0.04	
39	0.08	
40	0.09	
41	0.00	
42	0.08	
43	0.06	
44	0.08	
45	0.08	

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 en Costa Rica 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. Los datos se encuentran en las siguientes tablas. El ordenamiento se presenta de acuerdo al arreglo empelado para el análisis de varianza que se detallará adelante:

Tabla No. 6: Resultados de módulo resiliente a la tensión diametral (MPa)

		PLANTA			
		1		2	
% W		0 - 0,07	0,08 - 0,16	0 - 0,07	0,08 - 0,16
Muestras remoldeadas en laboratorio		3904	2979	5147	4087
		3775	2512	5482	4355
		3755	2901	4413	4434
			3509	5560	4174
			4101	3824	4358
			3237	5276	4436
				5886	5933
				7567	6761
				5964	6555
				6715	6685
				6220	7402
				6149	7250
					3905
					4055
					3915
					3756
					4008
				3830	

		PLANTA			
		1		2	
% W		0 - 0,07	0,08 - 0,16	0 - 0,07	0,08 - 0,16
Núcleos extraídos de sitio		1617	2199	1901	2304
		1730	2284	2119	2835
		1470	1688	2485	2422
		1604	1918	1450	2636
		1315		1666	2350
		1671		1648	2605
				1375	2360
				2036	2546
				1833	
				1598	
				1868	
				1901	

Tabla No. 7: Ensayo de resistencia a la tensión diametral (kPa)

		PLANTA			
		1		2	
% W		0 - 0,07	0,08 - 0,16	0 - 0,07	0,08 - 0,16
TD SIN CONDICIONAR			1086	1191	1578
			1085	1037	1463
			1071	733	1553
			1080	1186	1517
				1230	1219
				1315	1257
				1351	1515
				1254	1656
					1180
					1130
					1227
					1158

		PLANTA			
		1		2	
% W		0 - 0,07	0,08 - 0,16	0 - 0,07	0,08 - 0,16
TD CONDICIONADA			1054	994	1027
			1070	779	1204
			1018	722	1489
			979	846	1312
				1133	1325
				1041	1078
				1102	1300
				956	1293
					1058
					1011
					1170
					1023

#### 4. 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.

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

Percentil	Contenido de agua (%)
70	0.18
85	0.30

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

Planta	Percentil	Contenido de agua (%)
1	70	0.36
	85	0.36
2	70	0.35
	85	0.36
3	70	0.17
	85	0.20
4	70	0.08
	85	0.09
5	70	0.08
	85	0.10

## 5. 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 analizadas dentro del estudio 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:

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

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

(\*) Análisis de variancia 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 determinado por el proceso de producción de cada planta en particular, el cual tiene incluido el ciclo de secado de los agregados dentro de tambor mezclador, el tiempo en que se mezcla dicho agregado con el asfalto y las temperaturas de trabajo del tambor mezclador.

### 5.1 Evaluación de significancia estadística para el ensayo de resistencia a la tensión diametral. Mezclas provenientes de planta 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 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.

**Tabla No. 11 :Significancia estadística para la resistencia a la tensión diametral . (\*)**

Efecto sobre la resistencia a la tensión diametral (**)	Especímenes	Planta	Rango de contenido de agua atrapada	Interacción
	SIN CONDICIONAR	SI	<b>SI</b>	NO
	CONDICIONADOS	NO	<b>SI</b>	NO

(\*) Análisis de variancia 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 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.

## 5.2 Evaluación de significancia estadística para el ensayo de módulo resiliente a la tensión diametral. Mezclas provenientes de planta 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

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

Efecto sobre la resistencia a la tensión diametral (**)	Especímenes	Planta	Rango de contenido de agua atrapada	Interacción
REMOLDEADOS		SI	<b>SI</b>	NO
EXTRAIDOS DE SITIO		SI	<b>SI</b>	SI

(\*) 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.

### **5.3 Análisis por contrastes para determinar si mayores contenido de agua atrapada determinan menores tensiones diametrales y módulos de resiliencia a la tensión diametral**

Adicionalmente, se realizó un análisis por contrastes para determinar si conforme disminuye el contenido de agua atrapada el valor del módulo aumenta, al igual que la tensión diametral.

La conclusión es que hay evidencia de que los valores de módulo resiliente a la tensión diametral y la resistencia de la mezcla a la tensión diametral indirecta en muestras con menor contenido de agua, son mayores, para el rango de datos analizado, para mezclas remoldeadas en laboratorio y de núcleos de campo.

## **6. 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 llovida.

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 el proceso 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.

- Se determinó que valores de contenido de agua atrapada menores determinan mezclas con módulos de resiliencia a la tensión diametral y tensión diametral indirecta superiores, lo cual implica un aumento de la vida útil de ésta.

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.

## 7. LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1	Promedio y desviación estándar general de todos los casos analizados
Tabla 2	Resumen de resultados promedio
Tabla 3	Resultados de contenido de agua promedio; periodo 2001-2005
Tabla 4	Análisis por percentiles para el contenido de agua promedio: período 2001-2005
Tabla 5	Resumen de resultados de contenido de agua atrapada para todas las plantas estudiadas
Tabla 6	Resultados de módulo resiliente a la tensión diametral
Tabla 7	Ensayo de resistencia la tensión diametral
Tabla 8	Resultado general del análisis por percentiles (todos los resultados)
Tabla 9	Resultado del análisis por percentiles para cada planta asfáltica analizada
Tabla 10	Evaluación de significancia estadística para cambios de contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica
Tabla 11	Significancia estadística para la resistencia al tensión diametral
Tabla 12	Significación estadística para cambios en el módulo resiliente a la tensión diametral
Figura 1	<b>Esquema metodológico</b>
Figura 2	<b>Variación del contenido de agua para todas las muestras estudiadas</b>
Figura 3	<b>Variación del contenido de agua promedio. Período 2001- 2004</b>
Figura 4	<b>Variación de percentiles del contenido de agua promedio. Período 2001-2004</b>

## 8. REFERENCIAS

---

- <sup>i</sup> 1. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, . CR-2002. Especificaciones costarricenses para la construcción de carreteras y puentes. San José, Costa Rica. 2002
- <sup>ii</sup> 2. Walker,I, Dwight, Mix Design Technologies Workshop Document, Asphalt Insitute, Lexington, Kentucky, 2002
- <sup>iii</sup> 3. Walker,I, Dwight, Mix Design Technologies Workshop Document, Asphalt Insitute, Lexington, Kentucky, 2002
- <sup>iv</sup> 4. Loría y Arce, Propuesta de una especificación costarricense para el contenido de agua atrapada en la mezcla asfáltica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LANAMME, Universidad de Costa Rica San Pedro de Montes de Oca, 2004.
- <sup>v</sup> 5.Witczac, Kaloush et al, Simple performance tests for SUPERPAVE Mix Design, NCHRP Resport 465, Transportation Research Borrard, Washington DC, 2002
- <sup>vi</sup> 6. Loría, Arce y Moreira, Efecto del Contenido de Agua Atrapada en la Mezcla asfáltica, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LANAMME, Universidad de Costa Rica, Informe LM- PI - PV- IN- 06 D- 02 San Pedro de Montes de Oca, 2003