

# Microaglomerados en caliente para capas de rodadura

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

## 1. Introducción

Un problema que han presentado las mezclas asfálticas en caliente de tipo denso, es la susceptibilidad a la deformación permanente a largo plazo, especialmente en condiciones severas de tráfico y de clima. Adicionalmente, si la mezcla es susceptible a la deformación, también manifiesta una pérdida de textura superficial que provoca que el pavimento se torne liso con el consecuente efecto en la seguridad de la vía.

Por este motivo, como alternativa de investigación, se planteó el análisis del tipo de mezcla denominado microaglomerados discontinuos en caliente, como alternativa para construir capas de rodamiento de alta resistencia al tráfico vehicular. Por lo tanto, se planteó analizar mezclas finas para capas delgadas de rodamiento, que presenten buen desempeño en cuanto a deformación permanente. También se propuso estudiar la influencia que tienen la adición de modificantes, la granulometría y características propias del asfalto, en el desempeño de las mezclas finas.

Como punto de partida en la investigación se utilizó lo establecido por la normativa española para diseño, granulometrías y ensayos de desempeño. Posteriormente se hicieron ajustes para adaptar esta tecnología a las condiciones locales.

En la etapa inicial se analizaron las granulometrías denominadas F8 y F10 de la normativa española, conjuntamente con un asfalto modificado, dos fuentes de agregado y cal hidratada como relleno mineral. Se analizó su desempeño según el ensayo de resistencia retenida a

la compresión uniaxial y a la tensión diametral, además del ensayo de deformación permanente, en la pista de ensayo de laboratorio.

Los primeros resultados obtenidos demostraron que la resistencia a la deformación permanente y los ensayos de durabilidad son superiores a los de las mezclas densas usadas típicamente en Costa Rica. En el caso de la deformación permanente se obtuvieron mezclas con deformaciones inferiores a 1.5 mm (granulometría F10) y al añadir cal, resistencias retenidas de hasta un 100.0%. Una mezcla típica en Costa Rica, generalmente presenta valores de deformación permanente superiores a 3 mm.

Para los diseños de mezcla se aplicó la metodología Marshall y la cal hidratada se usó como relleno mineral con agregados de la fuente N° 1 y se realizaron ensayos en la "Pista de laboratorio de Georgia" (APA) para determinar la deformación permanente a escala de laboratorio. También se hicieron ensayos de resistencia a la compresión uniaxial y a la tensión diametral.

Los diseños de mezcla se hicieron utilizando la metodología Marshall y se empleó la "Pista de laboratorio de Georgia" (APA) para determinar la deformación permanente a escala de laboratorio. También se hicieron ensayos de resistencia a la compresión uniaxial y a la tensión diametral.

Finalmente, se introdujo el ensayo de módulo resiliente a la tensión diametral de la mezcla, en un dispositivo de carga cíclica denominado UTM.

## 1.1 Desarrollo del proyecto

Se trabajó con las granulometrías F8, F10 y M10, tal y como la define la normativa española y posteriormente se añadió cal al 2.0% (mediante vía húmeda). El asfalto se modificó con un 1.5% de polímero. Las características de la mezcla se indican a continuación:

- Granulometría M10 española, 9.0% de vacíos.
- Granulometrías F8 y F10 españolas con 5.0% de vacíos.
- Asfalto modificado con 1.5% de polímero tipo EGA (PG-76).
- Cal como relleno mineral al 2%.

Debe hacerse énfasis en que investigaciones como la presentada, así como otras que realiza el LANAMME, corresponden al concepto de investigación aplicada, con lo cual se pretende adaptar y “tropicalizar” tecnologías que han sido exitosas en otros países a nuestra realidad, dadas las condiciones propias de nuestra materia prima y procesos de producción de mezcla asfáltica.

A continuación se presenta el esquema experimental que se siguió en esta segunda etapa de la investigación:

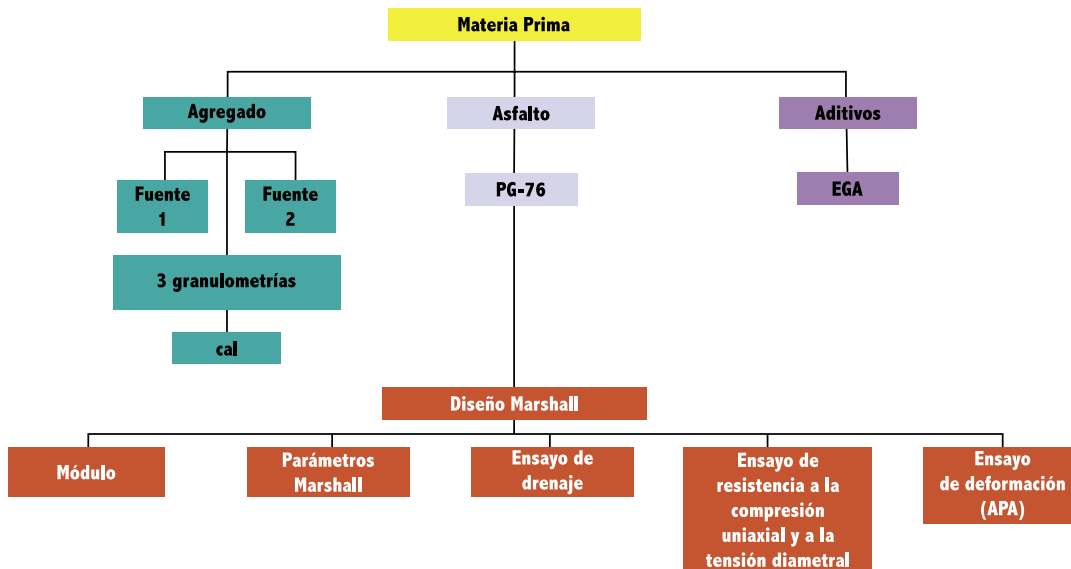


Figura 1. Esquema experimental

## 1.2 Definición y características generales de los microaglomerados discontinuos en caliente

Los microaglomerados se definen como mezclas asfálticas discontinuas de agregado con tamaño máximo de 12.0 mm, que se colocan en obra con espesores menores a 4.0 cm.

Es empleado como capa de rodadura con aporte estructural, y proporciona o restituye características superficiales de los pavimentos como: resistencia al deslizamiento, drenabilidad superficial, baja sonoridad, alta resistencia ante la deformación permanente, mejora notablemente la comodidad y seguridad del usuario, a un costo relativamente bajo debido a su pequeño espesor.

En España se normalizaron dos tipos de mezclas discontinuas, las mezclas tipo F (capas finas), con espesores entre los 2.0 y 4.0 cm; y las mezclas tipo M (monogranulares), extendidas en capas de 1.0 y 2.0 cm de espesor. En ambas los tamaños máximos utilizados son 8.0 y 10.0 mm.

Para conseguir una buena macrotextura con un tamaño de agregado reducidos se han sustituido las curvas granulométricas continuas por curvas discontinuas,

cuya principal característica es la discontinuidad entre el porcentaje que pasa la malla No.4 y que retiene la No. 8 cuyo valor máximo permitido es de 8.0%. Adicionalmente se debe indicar que poseen un elevado porcentaje de tamaños gruesos (70-80%). Esta característica asegura su alta estabilidad dada la alta fricción interna. El contenido de filler tiene un rango del 7 al 10%.

## 2. Caracterización de la materia prima

En este estudio se utilizó un solo tipo de agregado, proveniente del quebrador La Esmeralda en Guápiles y un solo tipo de ligante asfáltico, a saber AC-30 modificado con un polímero de tipo EGA al 1.5%, lo cual resultó en un PG-76.

### 2.1 Ligante asfáltico

Para los diseños analizados, se emplearon dos ligantes asfálticos base AC-30, que al modificarse con el polímero EGA, y clasificarse por grado de desempeño, se convirtieron en un PG 64-19, para las granulometrías F8 y F10 y en el caso de la granulometría M10 un PG 76-13

### 2.2 Agregado mineral

Se emplearon dos fuentes de agregado, que se caracterizan a continuación:

Fuente No. 1

Ensayo	Valor	Requerimientos	
		Especificación mínima	Especificación máxima
<b>Agregado grueso</b>			
Gbs	2,62	-	-
Absorción (%)	1,7	-	-
Abrasión tipo A (%)	19,1	-	20
Caras fracturadas (1 cara)	86	100	-
Partículas planas y elongadas			
-3 a 1	6,9	-	-
-5 a 1	0,9	-	-
<b>Agregado fino</b>			
Gbs	2,94	-	-
Absorción (%)	2,0	-	-
Límites de attemberg	NP	-	-
Ensayo no compactados (%)	36,6	-	-
Equivalente de arena	96	50	-
Disgregabilidad en sulfato de sodio (%)	5,65	-	-

Ensayo	Valor	Requerimientos	
		Especificación mínima	Especificación mínima
<b>Agregado grueso</b>			
Gbs	2,61	-	-
Absorción (%)	2,2	-	-
Abrasión tipo A (%)	-	-	20
Caras fracturadas (1 cara)	86	100	-
Partículas planas y elongadas			
-3 a 1	-	-	-
-5 a 1	0,0	-	-
<b>Agregado tipo chorro</b>			
Gbs	2,68	-	-
Absorción (%)	1,3	-	-
Abrasión tipo A (%)	11,0	-	20
Caras fracturadas (1 cara)	94,5	100	-
Índice de Plasticidad	NP	-	-
Equivalente de arena	59	50	-
Partículas planas y elongadas			
-3 a 1	-	-	-
-5 a 1	0,0	-	-
<b>Agregado fino</b>			
Gbs	2,50	-	-
Absorción (%)	2,0	-	-
Límites de attemberg	NP	-	-
Vacios no compactados (%)	35,4	-	-
Equivalente de arena	55	50	-

Figura 2. Caracterización de agregados

### 2.2.1 Coeficientes de pulimento acelerado

Basados en las normas NLT 174-93 Pulimento acelerado de los áridos, NLT-175-88 coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo del TRRL, AASHTO T279-91 Accelerated polishing of aggregates using the British wheel y la AASHTO T278-90 Surface frictional properties using the British Pendulum tester, se determinó para la fuente utilizada en este estudio el coeficiente de pulimento.

En la siguiente tabla se indica el resultado del este ensayo, para la fuente N°1.

Fuente 1	n	Fricción inicial		Fricción final (PSV)	
		Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
Fuente 1	n	0,71	0,06	0,64	0,05

Tabla 1. Coeficientes de pulido acelerado de agregados

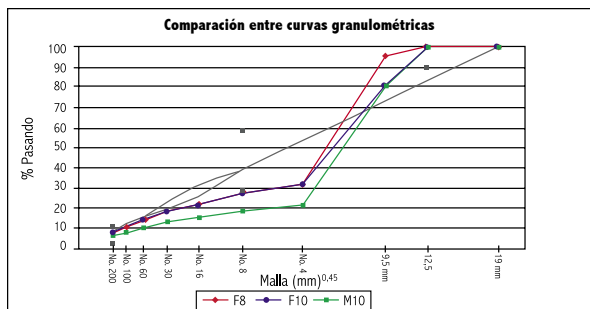
### 2.3 Curvas granulométricas empleadas

La siguiente figura ilustra las tres granulometrías empleadas. También aparece la curva de máxima densidad SUPERPAVE

para mezclas de 19 mm. Debe notarse la discontinuidad de las granulometrías estudiadas, respecto de la curva de máxima densidad.

Malla	Malla	F8	F10	M10
0,75	19 mm	100	100	100
1/2	12,5 mm	100	100	100
3/8	9,5 mm	96	81	81
<b>No. 4</b>	<b>4,75 mm</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>21</b>
No. 8	2,36 mm	27	27	18
No. 16	1,18 mm	22	22	15
No. 30	0,6 mm	19	18	13
No. 50	0,3 mm	14	14	10
No. 100	0,15 mm	11	11	8
<b>No.</b>	<b>0,075 mm</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>6</b>

Tabla 2. Granulometrías analizadas



Fuente: Experiencia europea en predicción del desempeño a largo plazo de pavimentos, Dr. Rodrigo Miro, Universidad Politécnica de Cataluña.

Figura 3. Granulometrías analizadas

### 3. Diseños de mezcla

A manera de ejemplo, se presenta la forma en que se determina el contenido óptimo de asfalto para un dado contenido de vacíos. En el ejemplo, se muestra el cálculo para la curva granulométrica M10, basándose en un contenido de vacíos de 9.0%. Los parámetros VFA y VMA se presentan solo para ilustración, pues no tienen especificación en microaglomerados.

#### 3.1 Resumen de contenidos de asfalto para cada porcentaje de vacíos estudiado

Los contenidos de asfalto obtenidos para cada granulometría analizada, se presentan en la Tabla 3.

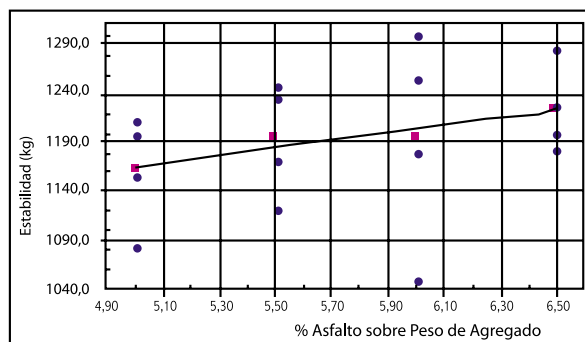
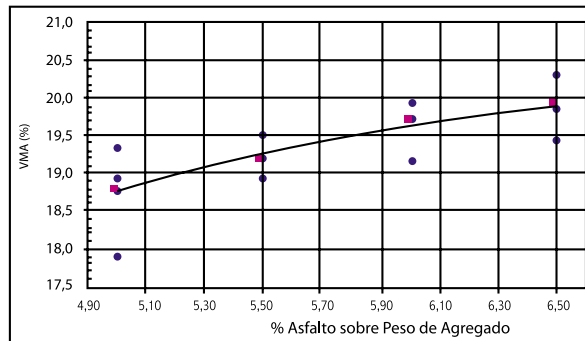
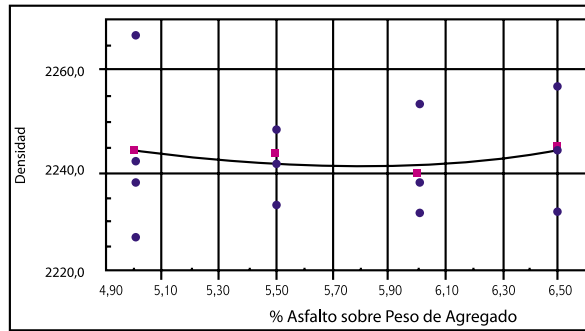
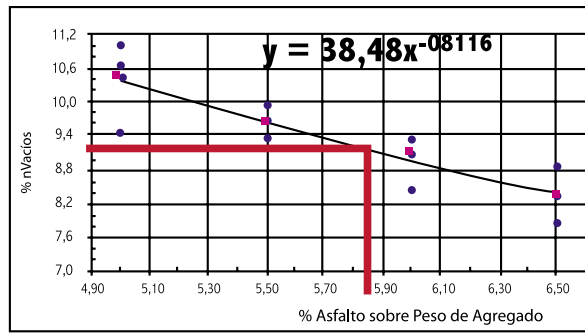


Figura 4. Ejemplo de cálculo del porcentaje de vacíos

			Contenido de asfalto		
			Granulometría		
			F8	F10	M10
Diseño Marshall	Fuente		% vacíos: 5,0	% vacíos: 5,0	% vacíos: 5,0
		Guápiles	Sin cal	6,7	5,7
		Con cal	6,6	5,6	
	San Gerónimo	Sin cal	5,5	5,0	
	Guápiles	Sin cal			6,0
		Con cal			5,5
Diseño SUPERPAVE	Guápiles	Sin cal			5,5

Tabla 3. Comparación entre los contenidos de asfalto para cada granulometría

#### 4. Comparación de resultados de ensayos de desempeño

##### 4.1 Resultados para el ensayo de deformación permanente

La siguiente tabla muestra los resultados del ensayo de deformación permanente para cada diseño analizado. De la tabla se puede concluir que se cumple ampliamente la meta de tener mezclas con valores de deformación inferiores a 3 mm, y que hay varias cuyo valor es inferior a 2.0 mm.

			Deformación permanente (mm)			
			Granulometría			
			F8	F10	M10	
Diseño Marshall	Fuente		% vacíos: 5,0	% vacíos: 5,0	% vacíos: 9,0	
		Guápiles	Sin cal	2,2	2,0	2,4
	Con cal		2,8	1,4	1,9	
	San Gerónimo	Sin cal	1,63	1,3		
	Diseño SUPERPAVE	Guápiles	Sin cal			2,5

Tabla 4. Comparación de resultados del ensayo de resistencia a la deformación permanente

##### 4.2 Resultados para los ensayos de resistencia retenida a la compresión uniaxial, tensión diametral y módulo resiliente

Los resultados indican resistencias retenidas a la compresión uniaxial, a la tensión diametral y al módulo resiliente que van

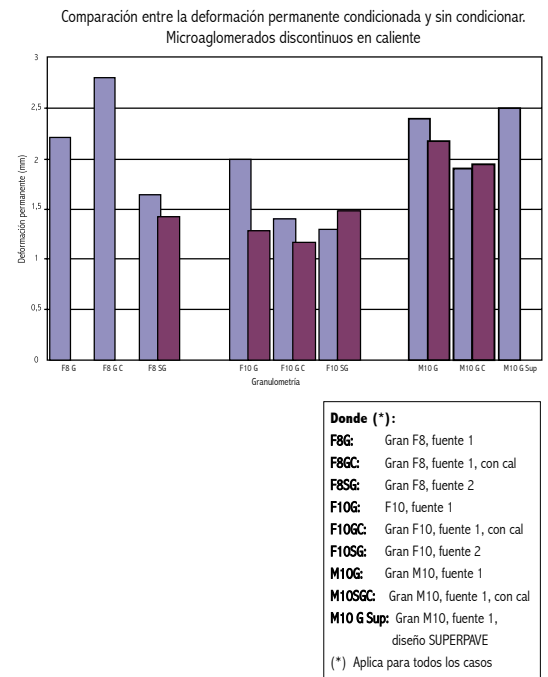


Figura 5. Comparación entre los valores de deformación permanente

desde 82% hasta un 100%, lo cual es un indicador muy positivo del desempeño de estas mezclas frente al efecto del agua.

Debe resaltarse que, a pesar de que estas mezclas son diseñadas para tener altísimas resistencia a la deformación permanente, en algunos casos, los módulos obtenidos son superiores a los de algunas mezclas densas estudiadas, que rondan los 3000 MPa.

		Resistencia (MPa) Especímenes sin condicionar			
		Granulometría			
		F8	F10	M10	
Fuente		% vacíos: 5,0	% vacíos: 5,0	% vacíos: 9,0	
	1	Sin cal	2,6	4,9	2,3
		Con cal	2,8	5,2	2,6
2	Sin cal	3,5	4,9	-	
		Resistencia (MPa) Especímenes condicionados			
		Granulometría			
		F8	F10	M10	
Fuente		% vacíos: 5,0	% vacíos: 5,0	% vacíos: 9,0	
	1	Sin cal	2,5	4,0	2,4
		Con cal	2,8	4,8	2,4
2	Sin cal	3,0	4,0	-	
		Resistencia retenida a la compresión uniaxial			
		Granulometría			
		F8	F10	M10	
Fuente		% vacíos: 5,0	% vacíos: 5,0	% vacíos: 9,0	
	1	Sin cal	96%	82%	104%
		Con cal	100%	92%	92%
2	Sin cal	86%	82%	-	

Comparación entre resistencia a la compresión, especímenes condicionados y sin condicionar. Microaglomerados discontinuos en caliente

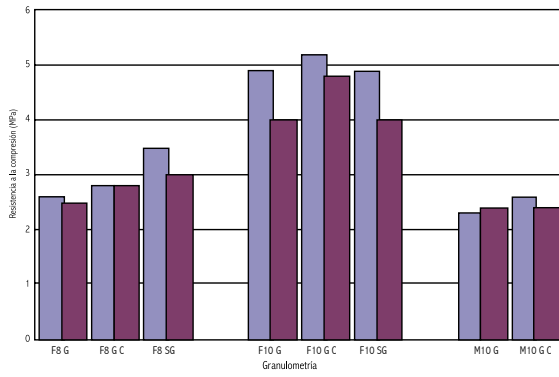


Figura 6. Variación de Resistencias a la compresión uniaxial

Resistencia (MPa) Especímenes sin condicionar				
Granulometría				
Fuente		F8	F10	M10
		% vacíos: 5,0	% vacíos: 5,0	% vacíos: 9,0
1	Sin cal	-	3695	2980
	Con cal	-	5040	3159
2	Sin cal	4454	4407	-
Resistencia (Pa) Especímenes condicionados				
Granulometría				
Fuente		F8	F10	M10
		% vacíos: 5,0	% vacíos: 5,0	% vacíos: 9,0
1	Sin cal	-	3857	2806
	Con cal	-	5169	2895
2	Sin cal	3675	4579	-
Resistencia retenida a la tensión diametral				
Granulometría				
Fuente		F8	F10	M10
		% vacíos: 5,0	% vacíos: 5,0	% vacíos: 9,0
1	Sin cal	-	104%	94%
	Con cal	-	103%	92%
2	Sin cal	83%	104%	-

Comparación entre módulo resiliente a la tensión indirecta. Especímenes condicionados y sin condicionar. Microglomerados discontinuos en caliente

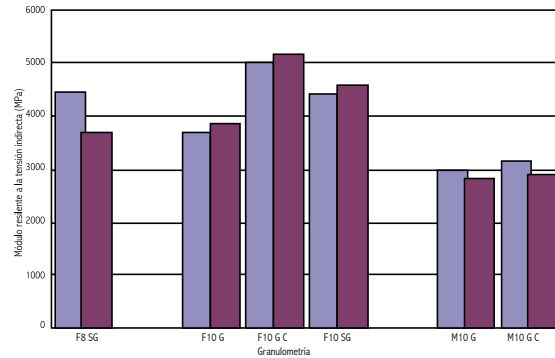


Figura 8. Variación de Resistencias al módulo resiliente

Resistencia (Pa) Especímenes sin condicionar				
Granulometría				
Fuente		F8	F10	M10
		% vacíos: 5,0	% vacíos: 5,0	% vacíos: 9,0
1	Sin cal	1079	1159	780
	Con cal	882	944	868
2	Sin cal	1224	958	-
Resistencia (Pa) Especímenes condicionados				
Granulometría				
Fuente		F8	F10	M10
		% vacíos: 5,0	% vacíos: 5,0	% vacíos: 9,0
1	Sin cal	916	1041,0	754
	Con cal	815	805	771
2	Sin cal	1201	933	-
Resistencia retenida a la tensión diametral				
Granulometría				
Fuente		F8	F10	M10
		% vacíos: 5,0	% vacíos: 5,0	% vacíos: 9,0
1	Sin cal	85%	90%	97%
	Con cal	92%	85%	89%
2	Sin cal	98%	97%	-

Comparación entre resistencia a la tensión diametral, especímenes sin condicionar y condicionados. Microglomerados discontinuos en caliente

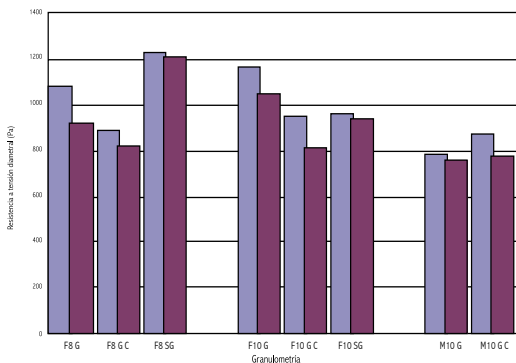


Figura 7. Variación de Resistencias a la tensión diametral

## 5. Análisis de varianza de los resultados

Con el objetivo de determinar cuáles son los principales factores que afectan la resistencia ante la deformación permanente, la resistencia a la tensión diametral, a la compresión uniaxial y al módulo resiliente a la tensión diametral, se efectuó un análisis de varianza, para lo cual se analizaron las siguientes variables:

- Fuente de agregados
- Granulometría F8, F10 y M10
- Adición de cal

Adicionalmente, se emplearon varios modelos de análisis por contrastes para efectuar comparaciones entre los distintos resultados. Un ejemplo se indica a continuación, en el cual el modelo se empleó para determinar si la deformación permanente de las mezclas a las que se añadió cal es menor que las otras.

$$H_0 : 1/3(\bar{F}_8 + \bar{F}_{10} + \bar{M}_{10})_{cal} - 1/3(\bar{F}_8 + \bar{F}_{10} + \bar{M}_{10})_{sin cal} = 0$$

$$H_1 : 1/3(\bar{F}_8 + \bar{F}_{10} + \bar{M}_{10})_{cal} - 1/3(\bar{F}_8 + \bar{F}_{10} + \bar{M}_{10})_{sin cal} > 0$$

Los resultados de estos análisis se indica en las conclusiones.

Los resultados del análisis de varianza se muestran en la Tabla No. 5:

Efecto sobre la resistencia a la deformación permanente (**)	Condición de especímenes de ensayo	Tipo de Granulometría (F8, F10, M10)	Adición o no de cal hidratada	Interacción
	SIN CONDICIONAR	SI	SI	NO
CONDICIONADOS	SI	NO	NO	NO
Efecto sobre la resistencia a la compresión uniaxial (**)	SIN CONDICIONAR	SI	SI	NO
	CONDICIONADOS	SI	SI	SI
Efecto sobre la resistencia a la tensión diametral (**)	SIN CONDICIONAR	SI	SI	SI
	CONDICIONADOS	SI	SI	SI
Efecto sobre la resistencia a la tensión diametral (**)	SIN CONDICIONAR	SI	SI	SI
	CONDICIONADOS	SI	SI	SI

(\*) 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%

Tabla 5. Significancia estadística para cambios en distintos parámetros de los ensayos de desempeño. Fuente No. 1 (\*)

## 6. Conclusiones

- Los resultados obtenidos concluyen que los microaglomerados presentan una alta resistencia ante la deformación permanente en el ensayo en pista de laboratorio, siendo dicha resistencia, muy superior a la obtenida con mezclas densas típicas tomadas de distintos proyectos en ejecución.
- Al analizar los resultados de deformación permanente en mezclas construídas con agregados de la fuente número 2, que fueron producidos con un quebrador de impacto, lo cual les dio mayor cubicidad que los agregados de otras fuentes, queda demostrada la influencia de un adecuado proceso de quebrado sobre la resistencia ante la deformación permanente de las mezclas asfálticas. Esto refuerza la necesidad de construir mezclas con agregados cada vez más cúbicos.
- La cantidad de asfalto requerido para las mezclas analizadas se encuentran dentro del rango habitual de las mezclas densas.
- Según los resultados obtenidos, el efecto de añadir cal al microaglomerado evidenció proveer cierta mejoría en cuanto a la deformación permanente.
- Sin embargo, a partir de los análisis por contrastes realizados, se determinó que la adición de cal mejora

sustancialmente la resistencia de la mezcla, ante el efecto del agua en cuanto a compresión uniaxial, tensión diametral y módulo resiliente.

## 7. Referencias bibliográficas

- 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
- Callanso y Otros. Comportamiento en servicio de microconcreto asfáltico discontinuo en caliente en acceso norte
- Corona Ballesteros, Glosario especializado de terminología asfáltica.  
Asociación Mexicana del Asfalto,  
Editorial Asociación Mexicana de Asfalto, 2002
- Miró, Rodrigo. Experiencia europea en predicción del desempeño a largo plazo de pavimentos  
Curso impartido en Costa Rica, 9-12 julio de 2002.