

# **ESTUDIO DE UN ENSAYO DE ANILLO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA MEZCLA BITUMINOSA A PARTIR DE LA COMPACTACIÓN DE PROBETAS POR IMPACTO Y POR GIRATORIA**

**EMILIO MORENO MARTINEZ**  
REPSOL

**FRANCISCO GUIADO MATEO**  
SACYR

**JAVIER LOMA LOZANO**  
ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN

**JOSE BERVIS LATORRE**  
PAVASAL

**JUAN JOSÉ POTTI**  
ASEFMA

**LUCÍA MIRANDA PÉREZ**  
EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS

**MANUEL JESUS GIL ROMERO**  
CEMOSA

**MARISOL BARRAL VÁZQUEZ**  
GRUPO CAMPEZO

**PEDRO VERGEL SOLERA**  
SORIGUÉ

**SANTIAGO GIL REDONDO**  
DITECPESA



---

# ESTUDIO DE UN ENSAYO DE ANILLO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA MEZCLA BITUMINOSA A PARTIR DE LA COMPACTACIÓN DE PROBETAS POR IMPACTO Y POR GIRATORIA

---

## INTRODUCCIÓN

**E**n España, la normativa de mezclas bituminosas aparecida con motivo de la aplicación del marcado CE y los nuevos ensayos de laboratorio, UNE-EN 13108 y UNE-EN 12697, ha precisado un importante esfuerzo para la adaptación tanto en las especificaciones de los materiales como en los propios laboratorios de ensayo. En las normas de ensayo UNE-EN 12697 aparecen cambios significativos, con nuevos tipos de ensayo y también modificaciones en el equipamiento y metodología.

Uno de estos cambios recogidos en las normas EN 12697 son los distintos sistemas de compactación de las probetas de mezcla bituminosa en el laboratorio. Hay 4 posibilidades:

- UNE-EN 12697-30: Método de impacto. El método de impacto es el más conocido en España, del que se tiene mayor experiencia y que sirve de referencia para las especificaciones de los materiales. Consiste en la fabricación de probetas cilíndricas con un diámetro 101 milímetros que se compactan aplicando la energía por el golpeo de un peso de acero con masa conocida que cae desde una altura prefijada. El golpeo se efectúa por ambas caras de las probetas y la variación de energía se realiza aplicando distinto número de golpes. El tamaño máximo de árido no debe ser mayor a 22, 4 mm.
- UNE-EN 12697-31: Método giratoria. El Método de compactación con la máquina giratoria es un procedimiento de fabricación de probetas cilíndricas utilizado en varios países (como EEUU o Francia) a las que se aplica una carga vertical y mediante la aplicación de giros (moldeo) se compacta la probeta. Este sistema presenta grandes ventajas ya que, además de poder fabricar probetas con distinto diámetro para emplear en otros ensayos, es posible obtener información acerca de la compactibilidad de las mezclas bituminosas. El tamaño máximo del árido no debe ser superior a 31,5 mm.
- UNE-EN 12697-32: Método vibratorio. El método de compactación vibratorio consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de distinto diámetro con un equipo vibratorio (martillo vibrante conocido como equipo kango), aplicando diferente energía variando el tiempo de compactación. En un principio se pensó que podía ser de utilidad para fabricar probetas de mezcla bituminosa con tamaño máximo de árido superior a 22,4 milímetros, aunque en los trabajos efectuados hasta la fecha los resultados obtenidos no han sido satisfactorios.
- UNE-EN 12697-34: Método rodillo. La compactación de probetas con el rodillo se utiliza para la fabricación de probetas paralelepípedas de grandes dimensiones que suelen ser ensayadas posteriormente con el equipo de rodadura o para la

determinación de la fatiga, aunque también es posible extraer testigos cilíndricos de las mismas para utilizar en otros ensayos.



Foto de la máquina GIRATORIA.



Foto del equipo de IMPACTO.

En las normas de especificaciones de producto, UNE-EN 13108, se indican cuales son los métodos de compactación permitidos en cada caso para fabricar las probetas que se utilizan en otros ensayos, así como las condiciones específicas (pe. energía).

La densidad en las mezclas bituminosas es un parámetro de gran importancia, ya que a partir del valor obtenido en este ensayo obtenemos el porcentaje de huecos y sirve como referencia para fabricar las probetas que utilizamos en los ensayos de caracterización del material y a partir de las cuales definimos las propiedades de cada mezcla. Además la densidad es un criterio de aceptación-rechazo de las mezclas bituminosas una vez compactadas en las obras de pavimentación.

Desde el grupo 3 de Asefma se ha creado un grupo de trabajo específico compuesto por empresas fabricantes de mezclas bituminosas, centros de investigación y los principales suministradores de los equipos de ensayo. En esta comunicación se indican los resultados obtenidos en un primer estudio de anillo realizado entre varios laboratorios y que sirve para comparar los métodos de compactación con los equipos de impacto y la máquina giratoria.

### PROTOCOLO INICIAL DEL TRABAJO

Para asegurar la fiabilidad de los ensayos, se ha realizado previamente un protocolo de trabajo donde se han definido algunos aspectos que podían tener influencia en los resultados finales de los ensayos, como es la preparación de las muestras o las condiciones del ensayo. Algunos de los apartados de este documento son:

- Calibración de todos los equipos. Para el equipo de impacto se indica si corresponde al equipo descrito en la norma UNE-EN 12697-30 o el equipo descrito en la NLT-159, adjuntando la verificación del equipo. Para el equipo de la máquina giratoria, se indica el grado de compactación (en Europa es de 0,82 ° pero en otros países se emplea uno superior) y el modelo, así como las calibraciones efectuadas en el equipo.

- Tipo de mezcla empleada en el estudio: AC16 S.
- Densidad máxima (procedimiento volumétrico descrito en la UNE-EN 12697-5): 2471 kg/m<sup>3</sup>.
- Composición. Los áridos empleados son de naturaleza silicocalcareo (gruesos y arena) y arena caliza. El betún empleado es el penetración 35/50.
- Fabricación. Todas las muestras utilizadas en el anillo se han obtenido de una misma amasada fabricada en una planta asfáltica (Elsan-Arganda del Rey).
- Preparación. Se han unificado las operaciones de preparación y manipulación de las muestras, fijando las condiciones de tiempo y temperatura de la mezcla en la estufa.
- Compactación. En el caso del método de impacto se ha fijado una energía de compactación de 75 golpes por cada cara y en el caso de la giratoria se compactan las probetas hasta 210 giros. La temperatura de compactación en ambos casos es la misma: 165 °C.
- Resultados: curvas de compactación energía/densidad y densidad en frío y caliente, ambos parámetros para los dos métodos (impacto y giratoria).
- Resistencia a tracción indirecta a 15 °C de las probetas fabricadas con ambos sistemas.

### RESULTADOS

Los resultados obtenidos son los siguientes:

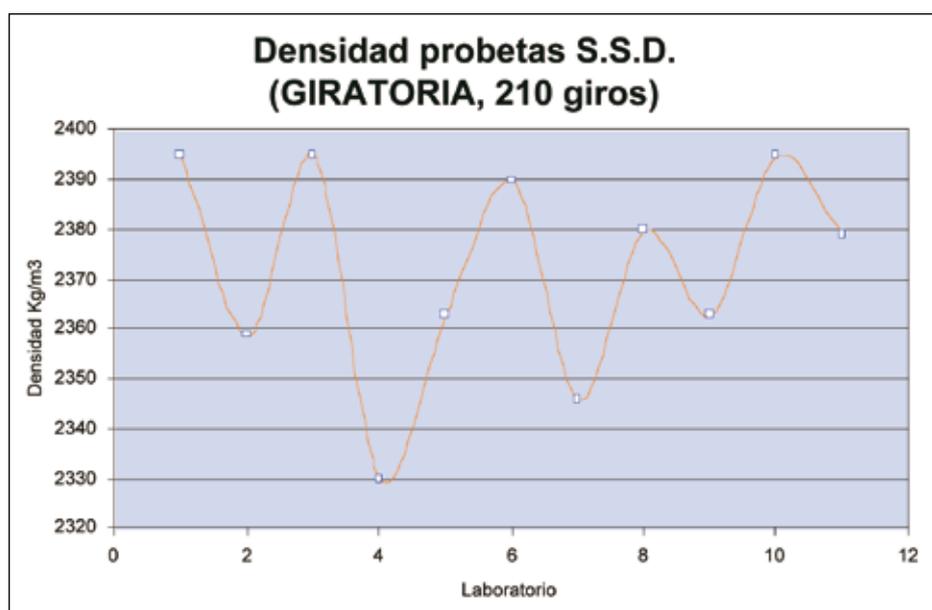
#### Compactación con la máquina giratoria.

La compactación con la máquina giratoria se ha realizado aplicando una energía de 210 giros, siendo los valores de densidad y huecos los correspondientes a las medidas de las probetas en frío (el valor obtenido en la medición de la altura de la probeta cuando se efectúa en caliente y/o en frío es distinto por lo que en el documento se distingue el método utilizado en cada caso). Todos los equipos han sido previamente calibrados, siendo el ángulo de giro el correspondiente al valor europeo: 0, 82 °.

LABORATORIO		LAB-1	LAB-2	LAB-3	LAB-4
Modelo		COOPER	CONTROLS	COOPER	COOPER
Densidad geométrica	kg/m <sup>3</sup>	2340	2291	2331	2267
Densidad SSS	kg/m <sup>3</sup>	2395	2359	2395	2330
Huecos geométrico	%	5,3	7	5,7	8,3
Huecos SSS	%	3,1	4,5	3,1	5,7

LABORATORIO		LAB-5	LAB-6	LAB-7	LAB-8
Modelo		CONTROLS	CONTROLS	COOPER	CONTROLS
Densidad geométrica	kg/m <sup>3</sup>	2294	2343	2282	2309
Densidad SSS	kg/m <sup>3</sup>	2363	2390	2346	2380
Huecos geométrico	%	7,1	5,2	7,7	6,6
Huecos SSS	%	4,4	3,3	5,1	3,7

LABORATORIO		LAB-9	LAB-10	LAB-11
Modelo		CONTROLS	CONTROLS	CONTROLS
Densidad geométrica	kg/m <sup>3</sup>	2310	2340	2340
Densidad SSS	kg/m <sup>3</sup>	2363	2395	2379
Huecos geométrico	%	6,5	5,3	5,3
Huecos SSS	%	4,4	3,1	3,7



### Compactación con el equipo de impacto

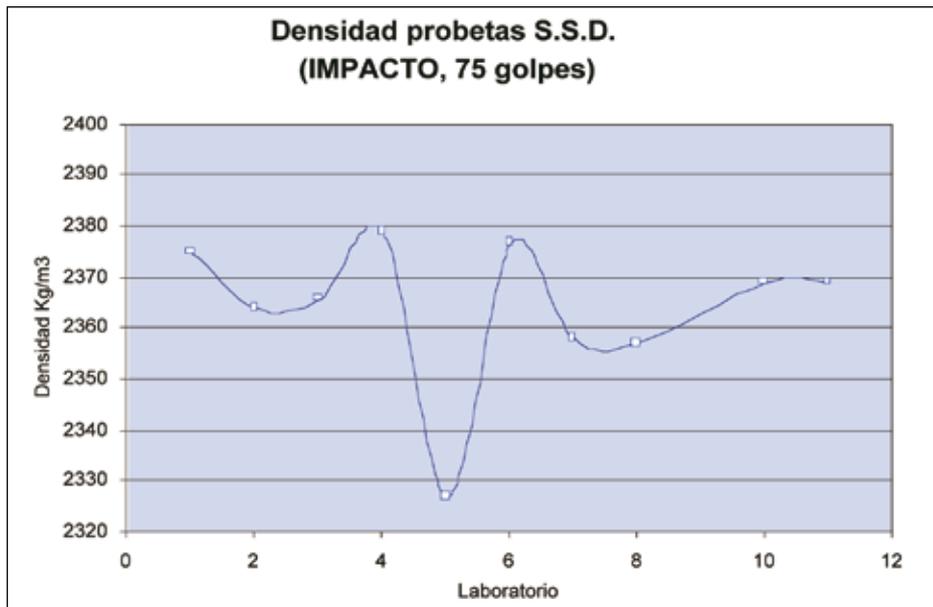
La compactación con el equipo de impacto se ha realizado aplicando una energía de 75 golpes por cada cara de la probeta, siendo los valores de densidad y huecos los correspondientes a las medidas de las probetas en frío.

LABORATORIO		LAB-1	LAB-2	LAB-3	LAB-4
Modelo		UNE	NLT	UNE	UNE
Densidad geométrica	kg/m <sup>3</sup>	2333	2311	2315	2325
Densidad SSS	kg/m <sup>3</sup>	2375	2364	2366	2379
Huecos geométrico	%	5,6	6,4	6,3	5,9
Huecos SSS	%	3,9	4,3	4,2	3,7

LABORATORIO		LAB-5	LAB-6	LAB-7	LAB-8
Modelo		NLT	UNE	NLT	UNE
Densidad geométrica	kg/m <sup>3</sup>	2252	2342	2338	2307
Densidad SSS	kg/m <sup>3</sup>	2327	2377	2358	2357
Huecos geométrico	%	8,8	5,2	5,4	6,6
Huecos SSS	%	5,8	3,8	4,6	4,6

LABORATORIO		LAB-9 (*)	LAB-10	LAB-11
Modelo		NLT	UNE	UNE
Densidad geométrica	kg/m <sup>3</sup>	2134	2330	2331
Densidad SSS	kg/m <sup>3</sup>	2193	2369	2369
Huecos geométrico	%	14	5,7	5,7
Huecos SSS	%	11	4,1	4,1

(\*) Los resultados correspondientes a este laboratorio no se han tenido en cuenta por la dispersión respecto al resto de laboratorios participantes.

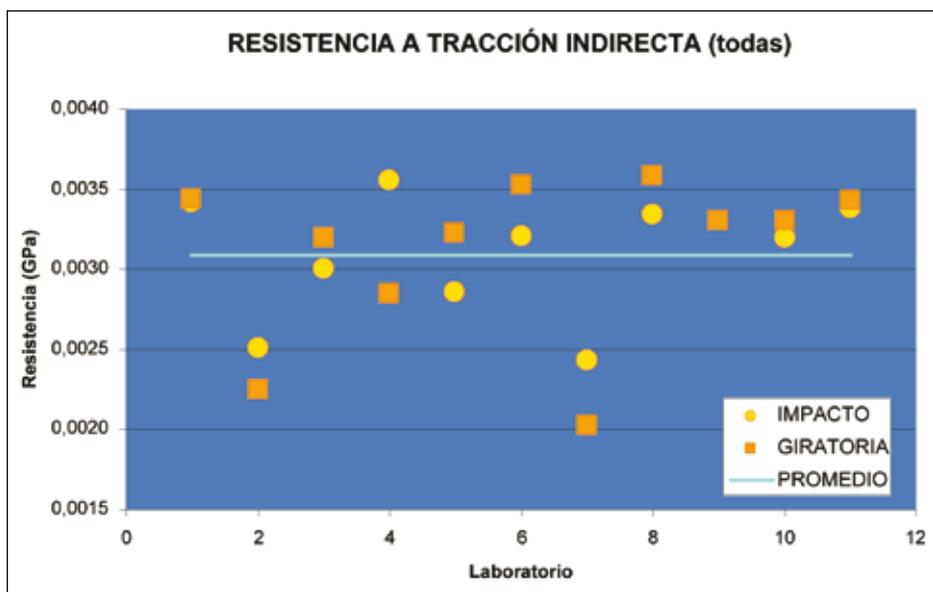


**Resultados de rotura a tracción indirecta UNE-EN 12697-23.**

El ensayo se ha efectuado acondicionando las probetas fabricadas con ambos sistemas de compactación, en aire a 15 °C y los resultados están expresados en GPa. Los resultados son únicamente comparativos entre ambos sistemas ya que se ha realizado con probetas compactadas a 75 golpes por cara que no se corresponde con la especificación establecida en el PG-3 que nos indica que debe realizarse con probetas a 50 golpes por cara. Son los siguientes:

LABORATORIO	Resistencia (GPa) equipo de IMPACTO	Resistencia (GPa) equipo de GIRATORIA
1	0,003417	0,003437
2	0,002507	0,002250
3	0,003000	0,003200
4	0,003557	0,002849
5	0,002860	0,003220
6	0,003210	0,003530
7	0,002430	0,002023
8	0,003340	0,003580
9	0,001900 (*)	0,003300
10	0,003200	0,003300
11	0,003380	0,003430

(\*) Dado que las probetas fabricadas con el equipo de impacto en el laboratorio 9 no se han considerado válidas, este valor no ha sido tenido en cuenta.



**Resumen y análisis de resultados:**
GIRATORIA:

Numero de laboratorios	11	
Equipos	Modelo 1: 7 unidades / Modelo 2: 4 unidades	
Valor/dato	Densidad, en kg/m <sup>3</sup>	
	Densidad geométrica (*)	Densidad S.S.S. (*)
Valor máximo	2343	2395
Valor mínimo	2267	2330
Desviación estándar	27,12	21,90
Promedio	2313	2372

(\*) Valor para una energía de 210 giros y determinación de la densidad en frío.

IMPACTO:

Numero de laboratorios	10	
Equipos	Modelo UNE: 7 unidades / Modelo NLT: 3 unidades	
Valor/dato	Densidad, en kg/m <sup>3</sup>	
	Densidad geométrica (*)	Densidad S.S.S.(*)
Valor máximo	2342	2379
Valor mínimo	2252	2327
Desviación estándar	26,03	14,99
Promedio	2318	2364

(\*) Valor para una energía de 75 golpes por cada cara y determinación de la densidad en frío.

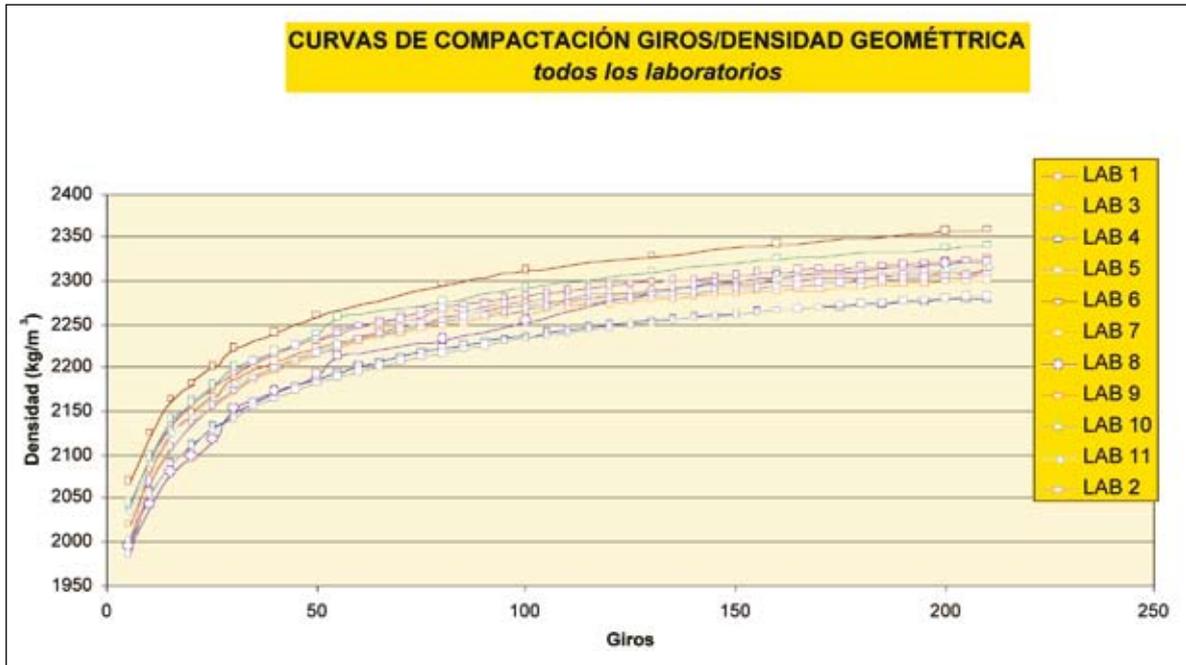
RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA:

Numero de laboratorios	11	
	Impacto	Giratoria
Promedio (GPa) (*)	0,003090	0,003102
Valor máximo	Max. 0,003557	Max. 0,003580
Valor mínimo	Min. 0,002430	Min. 0,002023
Desv. Estándar (resistencia)	0,00038505	0,00051840

(\*) Valor de la resistencia para probetas fabricadas con una energía de 75 golpes por cada cara y determinación de la densidad en frío.

**Curvas de compactación con las densidades geométricas** (determinación de la densidad en caliente) **obtenidas en la compactación con la máquina giratoria.**

Gráfico de representación de los resultados:

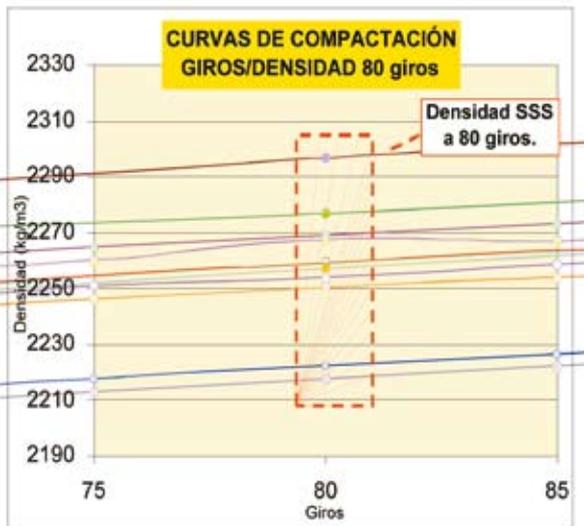


Para comparar los valores de densidad obtenidos en los laboratorios participantes en el anillo, se ha recogido en una tabla de datos la densidad geométrica de la mezcla con ambos métodos. En el caso de la máquina giratoria la densidad se determina en caliente (valor aportado por el equipo de ensayo) y los valores de densidad corresponden a niveles de energía de 80, 130 y 160 giros (valores seleccionados aleatoriamente). En el caso del equipo de impacto el valor de densidad corresponde al procedimiento geométrico en frío, para una energía de 75 golpes por cada cara.

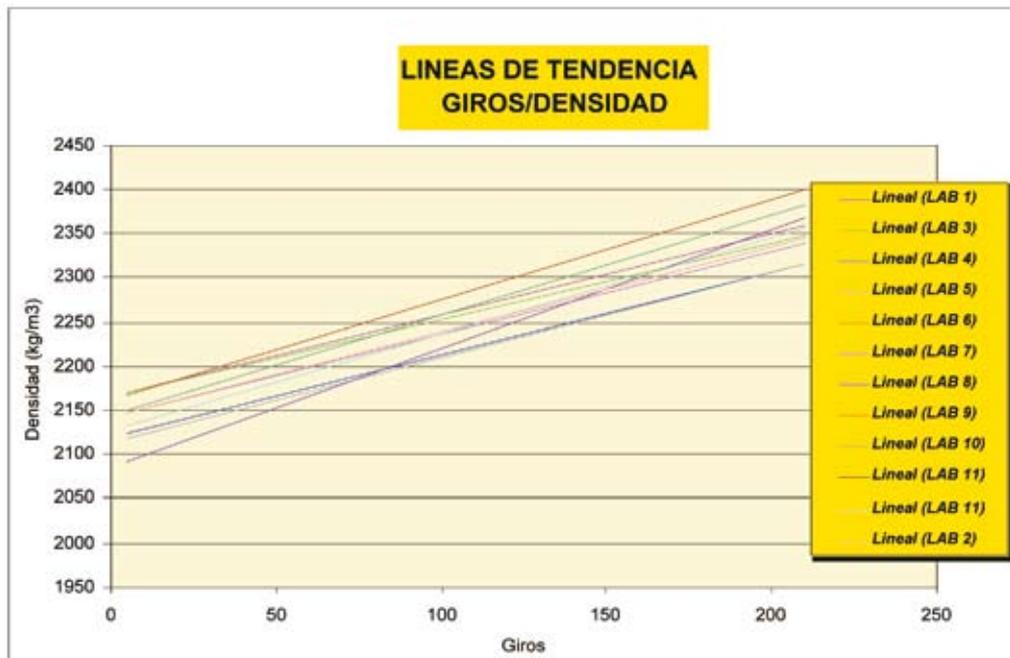
LABORATORIO	GIRATORIA (Giros)			IMPACTO (golpes)
	80	130	160	75
LAB 1	2269	2299	2310	2334
LAB 2	2253	2284	2294	2311
LAB 3	2268	2289	2300	2315
LAB 4	2222	2254	2266	2325
LAB 5	2218	2252	2266	2252
LAB 6	2297	2330	2344	2342
LAB 7	2250	2279	2289	2338
LAB 8	2233	2288	2305	2307
LAB 9	2259	2289	2301	
LAB 10	2277	2311	2326	2330
LAB 11	2257	2288	2303	2331
Desviación estándar	23,6	22,2	22,7	26,1
Valor Máximo	2297	2330	2344	2342
Valor Mínimo	2218	2252	2266	2252

Para una misma energía de compactación, 80 giros, la variación de la densidad geométrica obtenida en caliente en los distintos laboratorios participantes puede verse en el gráfico de la derecha.

Se han calculado las ecuaciones de todas las curvas de compactación (densidad geométrica en caliente) obtenidas con el equipo giratorio, insertando para cada una las líneas de tendencia. A la vista de la representación gráfica de estas líneas, gráfico inferior, parece indicar un comportamiento durante la compactación bastante homogéneo.



Laboratorio	Ecuación
1	$0,9202x+2165,9$
2	$0,9652x+2143,2$
3	$0,8686x+2164,4$
4	$0,9257x+2120,0$
5	$0,9617x+2114,1$
6	$1,1331x+2160,7$
7	$0,9282x+2143,6$
8	$1,3558x+2083,9$
9	$1,0864x+2127,8$
10	$1,1414x+2143,2$
11	$1,0918x+2128,2$

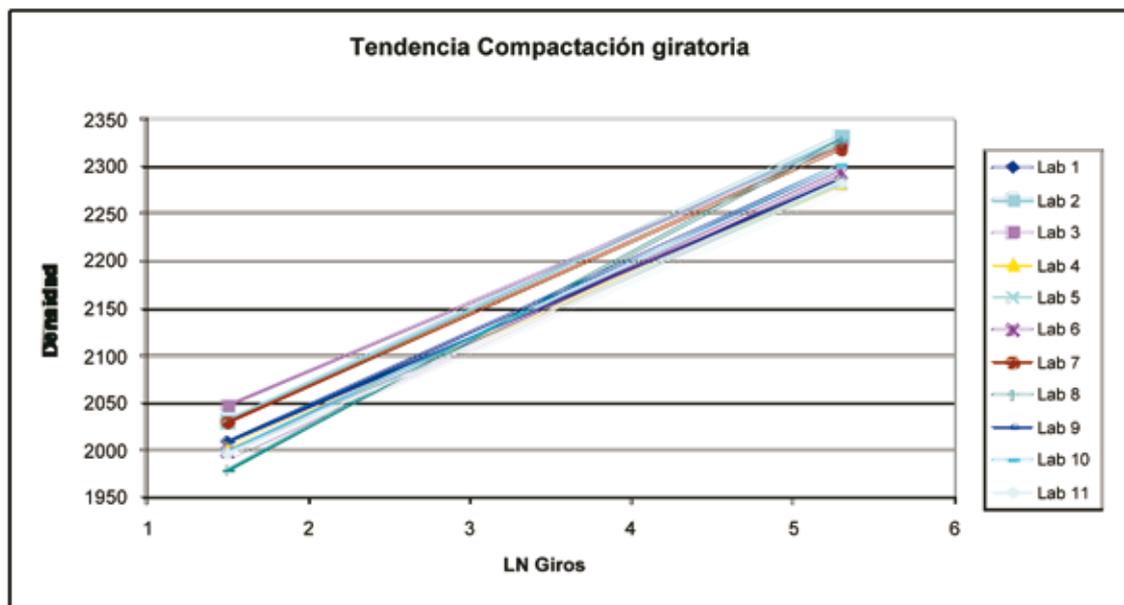


**Compactibilidad**

Los promedios de las curvas representadas en valores logarítmicos obtenidas en la compactación de las probetas con la máquina giratoria en cada uno de los laboratorios presentan las siguientes líneas de tendencia y sus respectivas ecuaciones: (empleando los valores de la densidad geométrica en caliente e igualando el punto de origen de cinco giros a la misma densidad; 2000 kg/m<sup>3</sup>).

Aunque existe cierta confusión con este método, especialmente en lo que se refiere a establecer un punto de origen en la compactación común o prescindir de ciertas partes de la curva, lo que si se refleja en las pendientes obtenidas es una cierta uniformidad lo que indica que para diferentes equipos el proceso de compactación ha sido similar.

Laboratorio	Pendiente	Coefficiente r <sup>2</sup>
1	73	0.9922
2	79	0.9792
3	72	0.9635
4	73	0.9952
5	75	0.9987
6	78	0.9973
7	76	0.9785
8	92	0.9953
9	77	0.9891
10	80	0.9951
11	75	0.9974
Promedio	77	



**CONCLUSIONES**

- En esta comunicación se han presentado los resultados de la primera parte del estudio de compactación con el equipo giratorio vs impacto del grupo 3 de Asefma.
- La aplicación de la energía en la compactación con el equipo giratorio depende de varios factores, como es el tipo de mezcla (familia EN 13108), tamaño

máximo del árido, naturaleza de los componentes y sobre todo el módulo de riqueza del ligante.

- En la actualidad existe un número elevado de equipo de compactación giratoria, la mayor parte entre los laboratorios de empresas fabricantes de mezclas bituminosas, lo cual está permitiendo profundizar en su conocimiento y adaptación a nuestros tipos de mezclas de este método de compactación.



- Está previsto continuar con los trabajos de adaptación de este sistema de compactación a los tipos de mezclas empleados en España.
- Las diferentes ventajas que aporta la compactación de mezclas bituminosas por el procedimiento girato-

rio, debería conducir en el futuro a una unificación de criterios y procedimientos para normalizar y especificar este método, adaptado a las mezclas españolas y con mayor interés, pero no exclusivo, a las mezclas con un tamaño máximo de árido superior a 22,4 mm, por ejemplo las mezclas tipo AC32.