

**IAG255-08-2013**  
**ESTUDIO DE LA EQUIVALENCIA ENTRE LA COMPACTADORA**  
**GIRATORIA Y EL EQUIPO DE IMPACTO (MARSHALL).**  
**TRABALHOS DE EQUIVALÊNCIA ENTRE A COMPACTADORA**  
**GIRATÓRIA E A EQUIPA DE IMPACTO (MARSHALL).**

Juan José Potti.  
Asefma.  
jjpotti@asefma.com.es

Javier Loma Lozano  
Asfaltos y Construcciones Elsan.  
Madrid, España.  
jloma@ohl.es

Jose Luis Peña Ruiz.  
Asefma.  
Madrid, España.  
jlpena@asefma.com.es

## **RESUMEN**

En España la fabricación de las probetas cilíndricas se ha venido realizando con el equipo Marshall, ahora denominado equipo de impacto, ya sea para la determinación de la densidad o la fabricación de probetas para su posterior ensayo, existiendo especificaciones para diversas propiedades en base a los resultados que se obtienen de las probetas fabricadas con esta metodología. La armonización de la normativa europea de mezclas bituminosas, de obligado uso en los países pertenecientes a la Unión Europea, con la aparición de las series de normas UNE-EN 13108 de producto y UNE-EN 12697 de ensayos, permite la posibilidad de fabricar probetas cilíndricas con varios tipos de compactación: compactador de impacto (UNE-EN 12697-30), compactador giratorio (UNE-EN 12697-31) y compactador vibratorio (UNE-EN 12697-32). La producción de probetas cilíndricas con el compactador de impactos está severamente limitada en el caso de mezclas bituminosas con áridos gruesos y mezclas fabricadas por tecnologías de baja temperatura (mezclas templadas).

Para solventar esta carencia, un grupo de trabajo de Asefma (Asociación de fabricantes de mezclas bituminosas de España) inició un trabajo para determinar la energía de compactación equivalente entre el compactador giratorio y el de impacto. Los resultados obtenidos permiten obtener por ambos métodos resultados equivalentes a nivel de densidad y de resistencia a la tracción indirecta en mezclas de los tipos AC, BBTM 11B y SMA, mostrando que el compactador giratorio ofrece mejores niveles de reproducibilidad. Los resultados obtenidos en la investigación han sido verificados con los controles de producción efectuados en las plantas de fabricación, efectuando también controles de densidad y resistencia entre la planta y la obra.

## **RESUMO**

Em Espanha, o fabrico de amostras cilíndricas foi realizada com o equipamento de Marshall, agora designado por equipamento de impacto quer para a determinação da densidade ou de

fabrico espécimes para ensaio subsequente, existem especificações para as várias propriedades com base na os resultados obtidos a partir das amostras com esta metodologia. A harmonização das regras europeias de misturas betuminosas de uso obrigatório nos países pertencentes à União Europeia, com o aparecimento de uma série de normas UNE-EN Product 13108 e EN 12697 testes, permite a possibilidade de espécimes cilíndrico, com vários tipos de compactação: Compactador de impacto (EN 12697-30), compactador giratório (EN 12697-31) e vibratório (EN 12697-32). A produção de amostras cilíndricas com o compactador de impacto é severamente limitada, no caso de misturas betuminosas com agregados grosseiros e as misturas produzidas por tecnologia de baixa temperatura (misturas quentes).

Para resolver essa deficiência, um grupo de trabalho Asefma (Associação de Fabricantes de Espanha misturas betuminosas) começou a trabalhar para determinar o equivalente a energia de compactação entre o compactador giratório e impacto. Os resultados obtidos por ambos os métodos de obtenção de resultados equivalentes ao nível de densidade e de tensão AC misturas tipo indirecto, e SMA BBTM 11B, mostrando que o compactador giratório proporciona níveis mais elevados de reprodutibilidade. Os resultados da investigação foram verificados com controles de produção realizados em fábricas, fazendo com que também controla a densidade e força entre a terra eo trabalho.

## **INTRODUCCIÓN**

El compactador de impacto (Marshall) ha sido la herramienta tradicionalmente usada en España para diseñar las formulaciones de las mezclas bituminosas y para evaluar sus propiedades mecánicas. Así, en el caso de las mezclas tipo AC, la compactación por impacto se realiza aplicando 75 golpes por cara, mientras que en el caso de mezclas tipo BBTM y PA la compactación exigida es de 50 golpes por cara.

Mediante este método de compactación se han establecido correlaciones razonables entre las probetas producidas en el laboratorio y testigos extraídos de los pavimentos. La correlación de ha ceñido a la búsqueda de densidades equivalentes y de propiedades mecánicas.

Es interesante reseñar que las mezclas bituminosas empleadas en España, especialmente las tipo AC, han sido concebidas para minimizar el deterioro del pavimento a causa de las roderas, siendo normales los bajos contenidos de betún en las mismas. Este bajo contenido de ligante hace que su proceso de compactación, en laboratorio y en obra, sea relativamente distinto al de otros países.

Con motivo de la implantación del mercado CE en España mediante la aprobación de normas armonizadas, nuevos procedimientos de compactación de probetas en el laboratorio quedaron normalizados. Así, además del compactador de impactos (UNE EN 12697-30) otros métodos de compactación están disponibles: el compactador giratorio (UNE EN 12697-31) y el compactador vibratorio (UNE EN 12697-32). Destaca por su potencial interés el compactador giratorio, por los siguientes motivos:

- Permite trabajar con áridos de mayor tamaño, al poder utilizar un molde de mayores dimensiones (150 o 160 mm de diámetro).
- Es adecuado para compactar mezclas fabricadas a baja temperatura, especialmente las correspondientes a la categoría de mezclas templadas (teniendo en cuenta las tendencias existentes en el mercado, las mezclas asfálticas de baja temperatura producidas mediante procesos de espumación parecen ser las predominantes. Este tipo de mezclas no pueden ser compactadas de forma adecuada mediante los compactadores de impacto).

- Es factible diseñar probetas hasta un contenido de huecos muy controlado (este punto también es factible con algunos modelos de compactador de impacto equipados con sondas de control de compactación).
- De acuerdo a la bibliografía existente, el compactador giratorio genera menor dispersión en la preparación de probetas que el compactador de impactos.
- Las pruebas realizadas con el compactador vibratorio no fueron satisfactorias, obteniendo mezclas con contenidos muy bajos de huecos, lo cual provocó su descarte, centrándose el trabajo en el uso del compactador giratorio.

La equivalencia en el nivel de compactación entre el equipo de impactos y el giratorio ha sido ampliamente descrita a través del desarrollo del programa Superpave. Sin embargo, debido a las diferencias existentes entre los compactadores del programa Superpave y los descritos en la norma EN 12697-30, especialmente la diferencia en el ángulo interno de giro ( $0.82^\circ$  en Europa y  $1.2^\circ$  en EEUU) unida a las distintas características reológicas de las mezclas bituminosas empleadas en España, se ha hecho necesario efectuar un estudio de determinación de energías equivalentes de compactación por ambos métodos.

Debe recalcar que el principal objetivo de este estudio es obtener un método alternativo al del compactador de impacto para producir probetas que posteriormente son caracterizadas mecánicamente. En la normativa existente en España, los ensayos que se realizan a partir de estas probetas cilíndricas son: el de sensibilidad al agua (UNE-EN 12697-12) y la rigidez a tracción indirecta (UNE-EN 12697-26). Ambos métodos de ensayo se basan en metodologías de tracción indirecta que experimentalmente se ha demostrado son muy dependientes de la uniformidad de las probetas. En este sentido, la obtención de probetas con el compactador de impacto genera unos niveles de reproducibilidad relativamente deficientes.

A medio plazo, el objetivo de este estudio de comparación es ampliarlo a la evaluación de la compactabilidad de las mezclas bituminosas en el laboratorio y su correlación con los valores obtenidos en obra pero esta tarea no es objeto de este estudio.

Otra razón para abordar este trabajo ha sido la reciente disponibilidad en España de un gran número de laboratorios equipados con instrumentación adecuada, lo que permite abordar estudios de reproducibilidad con mayores garantías que al hacerlo con un número muy reducido de participantes. En este sentido, la creación del grupo Aleas (Agrupación de Laboratorios de Entidades Asociadas a Asefma) ha sido un revulsivo para impulsar trabajos colaborativos como el descrito en esta publicación.

El trabajo se ha organizado de forma escalonada, empezando con un ajuste inicial de los equipos seguido de un estudio con las mezclas que suponen la mayor parte de la producción (tipo AC) y continuando con el resto de tipologías de mezclas empleadas en el mercado español. Esta publicación recopila las experiencias obtenidas con los siguientes tipos de mezclas: AC, BBTM11 B y SMA 11.

Una parte importante del trabajo se ha dedicado al estudio de la variabilidad de ambos métodos, ya que en España no se había realizado un estudio de reproducibilidad a tan gran escala.

## **OBJETIVO Y DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS**

Como ya se ha citado anteriormente, el objetivo principal del trabajo es determinar la energía equivalente a aplicar en la fabricación de probetas con el compactador giratorio (se utiliza el ángulo de giro establecido para los ensayos en Europa, de  $0,82^\circ$ ) para alcanzar la densidad que

se obtiene en las probetas fabricadas con el compactador de impacto para varios tipos de mezclas bituminosas que se fabrican en España: Mezclas tipo AC (hormigón bituminoso: UNE-EN 13108-1), mezclas tipo BBTM (mezclas discontinuas: UNE-EN 13108-2), mezclas tipo SMA (Stone mastic asphalt: UNE-EN 13108-5), mezclas tipo PA (porous asphalt, mezclas porosas: UNE-EN 13108-7). El trabajo asignado a este último tipo de mezcla está actualmente en marcha.

La sistemática del estudio es la siguiente: fabricación de probetas con el compactador de impacto aplicando energías de 50 golpes por cara (para todo tipo de mezclas) y 75 golpes por cara (solo para las mezclas AC); fabricación de probetas con el compactador giratorio con una aplicación de 210 giros. A partir de las curvas de densidad del compactador giratorio, se establecen los niveles de energía correspondientes a los valores de densidades obtenidos por impacto, dentro de los rangos que vienen recogidos en la norma UNE-EN 13108-20.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

El trabajo experimental se ha organizado en diversas fases:

- Fase 1. Ensayo de intercomparación inicial.
- Fase 2. Ajuste de equipos y estudio de la compactación para las mezclas AC con tamaño máximo 16 mm.
- Fase 3. Estudio para las mezclas AC con tamaño máximo de 22 y 32 mm.
- Fase 4. Estudio para las mezclas BBTMB y SMA con tamaño máximo 11 mm.
- Fase 5. Estudio para las mezclas PA (pendiente de concluir).

En todas las fases las mezclas ensayadas proceden de fabricación a escala industrial en planta y han sido divididas por cuarteo para cada uno de los participantes. Previamente se ha definido un protocolo de trabajos específico para cada material estudiado, fijando las condiciones de acondicionamiento y ensayo (temperatura, energía, tiempos, etc...).

### Fase 1. Ensayo de Intercomparación Inicial

En esta primera fase han participado 11 laboratorios (Moreno et al, 2010), ensayando una mezcla tipo AC con un tamaño máximo de árido de 16 mm, realizando los siguientes ensayos:

- Compactación de probetas con el equipo de impacto aplicando 75 golpes por cada cara y determinación de la densidad por superficie seca saturada y por el método geométrico, así como el contenido de huecos.
- Compactación de probetas con la máquina giratoria hasta 210 giros y determinación de la densidad por superficie seca saturada y geoméricamente, así como el contenido de huecos. De igual forma se analizan todas las curvas de compactación registradas en los equipos de ensayo.
- Ensayo de tracción indirecta (UNE EN 12697-12, en seco) todas las probetas a 15 °C.

Los resultados obtenidos se indican en la Tabla1:

**TABLA 1. Resultados ensayos de compactación por giratoria, impacto y resistencia a tracción indirecta**

COMPACTADOR GIRATORIO			
	Densidad, ( en kg/m <sup>3</sup> )		Resistencia a tracción indirecta (MPa)
	Densidad geométrica	Densidad SSD	

Desviación estándar	27	22	0,52
Promedio	2313	2372	3,10
COMPACTADOR DE IMPACTOS			
	Densidad, ( en kg/m <sup>3</sup> )		Resistencia a tracción indirecta (MPa)
	Densidad geométrica	Densidad SSD	
Desviación estándar	26	15	0,39
Promedio	2318	2364	3,09

A la vista de los resultados obtenidos se decidió efectuar un ajuste y la verificación de todos los compactadores utilizados.

## Fase 2. Ajuste de Equipos y Estudio de la Compactación para las Mezclas AC con Tamaño Máximo 16 mm

En este desarrollo han participado 6 laboratorios (Barral et al, 2011). La razón de la reducción del número de participantes respecto a la fase 1 fue facilitar el trabajo del grupo puesto que en el trabajo experimental se incluye una primera parte de verificación y ajuste de los equipos empleados, especialmente para los compactadores giratorios, ya que según los resultados mostrados en la Tabla 1 sus valores e reproducibilidad son peores que los de los compactadores de impactos, hecho que no concuerda con las referencias bibliográficas. Para el equipo de impacto se verifica el martillo, el mecanismo de elevación, el dispositivo de conteo y los tiempos de compactación y en el compactador giratorio se verifica el ángulo de giro, la fuerza aplicada y el dispositivo de medida de la altura de las probetas.

Para el ensayo se utilizan dos mezclas del tipo AC con tamaño máximo de árido 16 milímetros con diferente naturaleza de árido (calizo y síliceo) y curva granulométrica, como puede apreciarse en la tabla siguiente:

**TABLA 2: Composición de las mezclas de la fase 2**

Mezcla	AC16S	AC16D
Naturaleza del árido	Caliza	Sílice
Tipo de betún	35/50	50/70
Densidad máxima,	2582	2462
Ligante en mezcla, %	4,4	5,13
Relación f/b	1,17	1,24

Se prepararon series de probetas mediante el compactador de impactos aplicando 50 y 75 golpes por cara. Igualmente se preparó una serie de probetas con el compactador giratorio para una energía de 210 giros. En ella se determinó qué niveles de giros eran necesarios para alcanzar las densidades similares obtenidas mediante el compactador de impactos. De los resultados obtenidos se dedujo que era necesario preparar series de probetas a 40, 60, 80, 100 y 120 giros. Los resultados de las series de probetas citadas se muestran en la Tabla 3, así como la caracterización de las mismas mediante el ensayo de resistencia a tracción indirecta. Las probetas del compactador giratorio se realizaron con el molde de 100 mm.

**TABLA 3. Resultados ensayos de compactación por giratoria, impacto y resistencia a tracción indirecta en la fase 2**

COMPACTADOR DE IMPACTOS				
	Densidad, ( en kg/m <sup>3</sup> )		Huecos en mezcla (%)	Resistencia tracción indirecta (MPa) <b>Promedio/SD</b>
	Densidad geométrica (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad SSD (kg/m <sup>3</sup> )		

	AC16S	AC16D	AC16S	AC16D	AC16S	AC16D	AC16S	AC16D
75 golpes	2414	2387	2466	2417	6.5	3.1	<b>2.76/0.2</b>	<b>2.89/0.17</b>
50 golpes	2377	2364	2424	2402	7.9	4.0	<b>2.64/0.20</b>	<b>2.62/0.28</b>
<b>COMPACTADOR GIRATORIO</b>								
	Densidad, ( en kg/m <sup>3</sup> )				Huecos en mezcla (%)		Resistencia tracción indirecta (MPa) <b>Promedio/SD</b>	
	Densidad geométrica (kg/m <sup>3</sup> )		Densidad SSD (kg/m <sup>3</sup> )					
	AC16S	AC16D	AC16SS	AC16D	AC16S	AC16D	AC16S	AC16D
40 giros	2290	2291	2375	2361	11.1	7.0	<b>2.25/0.30</b>	<b>2.54/0.28</b>
60 giros	2335	2326	2402	2387	9.8	5.7	<b>2.48/0.36</b>	<b>2.80/0.33</b>
80 giros	2356	2367	2429	2411	8.9	4.2	<b>2.75/0.30</b>	<b>2.73/0.26</b>
100 giros	2362	2378	2448	2415	8.5	3.9	<b>2.81/0.30</b>	<b>2.70/0.17</b>
120 giros	2376	2383	2464	2426	8.0	3.4	<b>2.95/0.33</b>	<b>2.76/0.11</b>
210 giros	2431	2400	2503	2432	5.8	2.5	<b>3.17/0.20</b>	<b>2.83/0.28</b>

Las desviaciones estándar obtenidas de las mediciones de densidad de las probetas (método SSD) son menores para el compactador giratorio respecto al de impactos. Así en el equipo giratorio se obtuvieron valores de SD de la densidad de 12 y 17 (para las mezclas AC16S y AC16D, respectivamente, a 210 giros) mientras que con el compactador de impactos los valores fueron de 28 y 15, respectivamente (a 75 golpes por cara).

### Fase 3. Estudio para las Mezclas AC con Tamaño Máximo 22 y 32 mm

En esta fase han participado 6 laboratorios (Barral et al, 2012) y comprende el estudio de las densidades de probetas de las mezclas tipo AC con tamaño máximo 22 y 32 mm, con moldes de probetas de mayores dimensiones que en la fase anterior (150 o 160 milímetros de diámetro).

Las características de composición de las mezclas son las siguientes:

**TABLA 4: Composición de las mezclas empleadas en la fase 3**

Mezcla	AC22S	AC32G
Naturaleza del árido	Silicocalcareo	Caliza
Tipo de betún	50/70	35/50
Densidad máxima, kg/m <sup>3</sup>	2488	2589-2680
Ligante en mezcla, %	4,21	3,41- 3,52
Relación f/b	1,13	1,15-1,20

Se ha seguido el mismo procedimiento operativo que en la fase 2, decidiéndose unos niveles de energía para el compactador giratorio de 80, 100 y 160 giros. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5:

**TABLA 5. Resultados ensayos de compactación por giratoria, impacto y resistencia a tracción indirecta en la fase 3**

<b>COMPACTADOR DE IMPACTOS</b>				
	Densidad, ( en kg/m <sup>3</sup> )		Huecos en mezcla	Resistencia a tracción

	Densidad geométrica (kg/m <sup>3</sup> )		Densidad SSD (kg/m <sup>3</sup> )		Huecos (%)		Resistencia indirecta (MPa) <b>Promedio/SD</b>	
	AC22S	AC32G	AC22S	AC32G	AC22S	AC32G	AC22S	AC32G
75 golpes	2269	2458	2342	2518	6.4	5.3	<b>2.27/0.27</b>	<b>2.65/0.31</b>
50 golpes	2233	2401	2309	2478	7.2	6.7	<b>2.13/0.22</b>	<b>2.29/0.14</b>
<b>COMPACTADOR GIRATORIO</b>								
	Densidad, ( en kg/m <sup>3</sup> )				Huecos en mezcla (%)		Resistencia a tracción indirecta (MPa) <b>Promedio/SD</b>	
	Densidad geométrica (kg/m <sup>3</sup> )		Densidad SSD (kg/m <sup>3</sup> )		AC22S	AC32G	AC22S	AC32G
80 giros	2213	2404	2286	2479	8.2	7.5	<b>1.57/0.42</b>	<b>1.91/0.42</b>
100 giros	2233	2409	2296	2482	7.7	7.6	<b>1.68/0.38</b>	<b>1.67/0.50</b>
160 giros	2265	2481	2327	2541	6.5	5.6		<b>2.45/0.80</b>

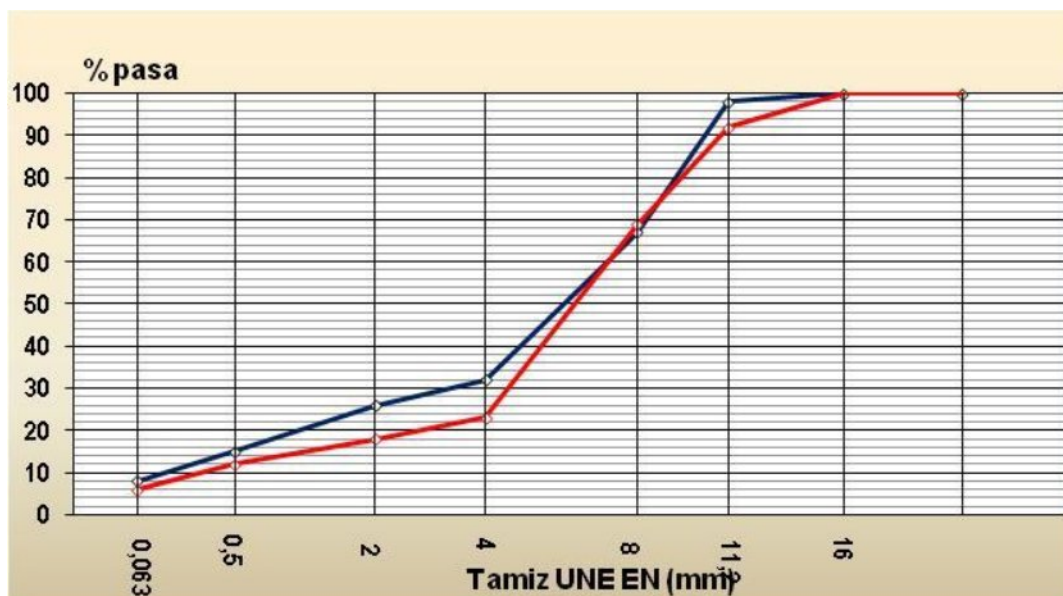
En la Tabla 6 se muestran los valores de los parámetros estadísticos analizados.

**TABLA 6. Parámetros de repetibilidad y reproducibilidad para la densidad en SSD y diferentes energías de compactación**

	50 golpes	75 golpes	80 giros	100 giros	160 giros	210 giros
<b>S<sub>R</sub> densidad</b>	21,2	19,6	12,8	16,2	15,9	12,1
<b>R densidad</b>	59	56	36	46	45	34
<b>S<sub>r</sub> densidad</b>	7,5	6,1	9,8	6,5	7,1	7,2
<b>R densidad</b>	21	18	28	18	20	20
<b>S<sub>R</sub> huecos m</b>	1,2	0,8	0,5	0,5	0,6	0,5
<b>R huecos m</b>	3,3	2,2	1,3	1,4	1,7	1,4
<b>S<sub>r</sub> huecos m</b>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>R huecos m</b>	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8

#### **Fase 4. Estudio para las Mezclas BBTM y Mezclas SMA con Tamaño Máximo 11 mm**

Las curvas granulométricas de ambas mezclas (Loma et al, 2013) de muestran en la Figura 1. En la mezcla SMA 11 se utiliza milonita como árido grueso mientras que en la BBTM B se utiliza cuarcita. Ambas mezclas emplean arena caliza como árido fino y un betún modificado tipo PMB45/80-65. El contenido de betún de la mezcla SMA es 3del 6,1% (s/m) y la de la BBTM del 5,2%, teniendo unas relaciones filler/betún de 1,2 y 1,1 respectivamente.



**FIGURA 1. Curvas granulométricas de las mezclas BBTM 11B y SMA 11 estudiadas en la fase 4**

Se fabrican series de probetas por impacto a 50 golpes (valor recogido en las especificaciones españolas).y con el compactador giratorio, primero a 210 giros y posteriormente a los rangos de energía más cercanos a la densidad de referencia obtenida por impacto. Con los resultados obtenidos se concluye que el rango de energía de compactación a explorar está en 80, 100, 120 giros para la mezcla SMA y de 100, 120 y 160 giros para la mezcla BBTM 11B.

La caracterización de las probetas se realiza se forma similar a la descrita en las fases anteriores, siendo los resultados obtenidos los mostrados en la Tabla 7.

**TABLA 7. Resultados ensayos de compactación por giratoria, impacto y resistencia a tracción indirecta en la fase 4**

COMPACTADOR DE IMPACTOS						
Ensayo	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )				Resistencia a tracción indirecta (MPa)	
Mezcla	SMA 11		BBTM 11		SMA 11	BBTM 11
Energía	Geométrica	SSD	Geométrica	SSD		
50 golpes	2318	2397	2134	2145	2.32	1.66
COMPACTADOR GIRATORIO						
Ensayo	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )				Resistencia a tracción indirecta (MPa)	
Mezcla	SMA 11		BBTM 11		SMA 11	BBTM 11
Energía	Geométrica	SSD	Geométrica	SSD		
80 giros	2313	2412	--	--	2.40	
100 giros	2317	2414	2084	--	2.47	1.49
120 giros	2329	2418	2092	--	2.62	1.49
160 giros	--	--	2135	--		1.57
210 giros	2360	2426	2145	--	2.42	1.63

A continuación (Tabla 8) se detallan los valores de desviaciones estándar de la repetibilidad y reproducibilidad en el caso de la compactación por impactos y en el valor de giros del

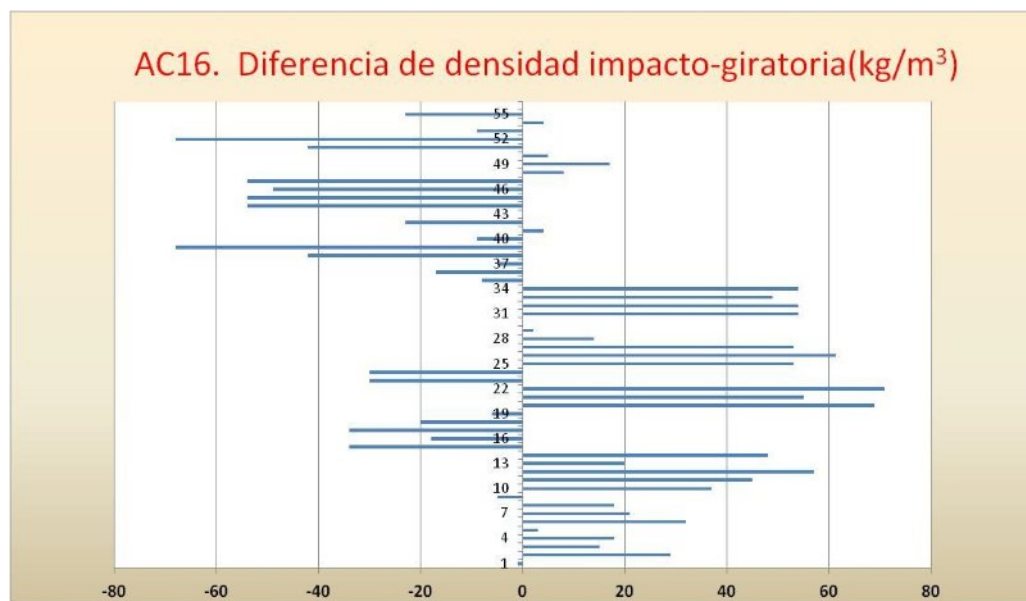


compactador giratorio al cual se considera que la energía aplicada suministra una densidad similar a la de referencia. En este caso 100 giros para la mezcla SMA 11 y 160 giros para la mezcla BBTM 11B.

**TABLA 8. Resultados de desviación estándar de repetibilidad y reproducibilidad**

	$S_r$		$S_R$	
	SMA 11	BBTM 11B	SMA 11	BBTM 11B
Densidad geométrica (impacto)	17.8	15	47.1	77
Densidad SSD (impacto)	8.1	--	31.1	--
Densidad geométrica (100 giros)	17.7	--	26.2	--
Densidad SSD (100 giros)	9.2	--	15.1	--
Densidad geométrica (160 giros)	--	30	--	59

Al finalizar la fase de estudio de las energías en diferentes laboratorios, se procede a realizar un estudio de comprobación de los resultados impacto vs giratoria a escala real con las fabricaciones en planta durante el control de producción para verificar los grados de energía obtenidos en el trabajo. En la Figura 2 se muestra la recopilación de datos ya efectuada para la mezclas tipo AC 16, referida a la diferencia de densidad entre probetas preparadas por el compactador de impacto y el giratorio.



**FIGURA 2: Resultados de la comprobación en planta de las densidades SSD de probetas fabricadas con el método de impacto y giratorio**

Puede verse que las diferencias totales no tienen un seso claro, atribuyéndose las diferencias a la variabilidad del ensayo (en este caso acumulativo: al preparar las probetas y en el método de medición).

## CONCLUSIONES

- Los valores de la energía equivalente para obtener el mismo valor de densidad entre la compactación de probetas con el equipo de impacto y el compactador giratorio para las mezclas estudiadas, teniendo en cuenta los niveles permitidos en la tabla C.1 de la Norma UNE-EN 13108-20, son los siguientes:

MEZCLAS	Giros equivalentes a 75 golpes por cara	Giros equivalentes a 50 golpes por cara
AC32	160	80
AC22	160	100
AC16	100	80
BBTM11B	--	100
SMA11	--	160

- Los resultados obtenidos en los ensayos de verificación durante el control de producción en la planta entre ambos sistemas de compactación para distintos tipos y composición de mezclas bituminosas son satisfactorios, confirmando los niveles de energía recomendados en el trabajo. No obstante, es recomendable continuar efectuando este trabajo para disponer de un número más elevado de resultados que ratifiquen las conclusiones citadas.
- En todos los casos, se han obtenido resultados de reproducibilidad mejores para las probetas fabricadas con el compactador giratorio (menores valores de  $S_R$ ).
- Los resultados obtenidos en los ensayos de tracción indirecta no aportan una información clara sobre el comportamiento en las mezclas fabricadas por los diversos métodos.
- Se han estudiado otros parámetros que, por falta de espacio en la comunicación, no se han podido incluir en este documento: resistencia a tracción indirecta entre probetas de laboratorio y testigos de obra, medida de la compactibilidad, estudio del coeficiente CEI (Compactation Energy Index) o el análisis de la compactación aplicando precompactación al inicio. Se tiene previsto concluir los trabajos de equivalencia con ambos métodos para finales del 2013, continuando los estudios para el ajuste de la compactación de mezclas fabricadas a menor temperatura

## AGRADECIMIENTOS

La realización de un trabajo de esta magnitud requiere de la colaboración de un numeroso grupo de participantes para que los resultados puedan considerarse estadísticamente relevantes, por lo que se agradece a todos ellos el esfuerzo realizado durante estos 4 años a los integrantes del Grupo Aleas del Compactador Giratorio: Campezo, Eiffage Infraestructuras, Mecacisa, Ciesm-Intevía, Acciona, Repsol, Pavasal, Sacyr, Intromac, Sorigué, Ditecpesa, Asfaltos y Constucciones Elsan, Los Serrano, Proas, Cemosá, Unicam y Asefma

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barral M., Romera R., Miranda L., Bravo F., Berbis J., Felipo J., Carmona M., Izquierdo S., Gil S., Suárez F.J., Cervantes R., Loma J., Royo C., Potti J.J 2011 Estudio comparativo de la metodología de compactación giratoria-impacto, parte II. Comunicación libre nº 48 Proceedings VI Jornada Nacional de Asefma.

Barral M., Romera R., Miranda L., Bravo F., Berbis J., Felipo J., Carmona M., Izquierdo S., Gil S., Suárez F.J., Cervantes R., Loma J., Royo C., Potti J.J 2012 Estudio comparativo de la metodología de compactación giratoria-impacto, parte III. Comunicación libre nº1 Proceedings VII Jornada Nacional de Asefma.

Loma J., Cervantes R., Barral M., Romera R., Hidalgo M.E., Serrano F., Bravo F., Berbis J., Felipo J., Carmona M., Gil S., Suárez F.J., Berenguer J.M., García A., Moreno E., Soto J.A., Agulló X., Vergel P., Andaluz D., Valor F., Lucia J.L., Royo, C., Peña J.L., Potti J.J. 2013

Estudio comparativo de la metodología de compactación giratoria-impacto, parte IV .  
Comunicación libre nº 13. Proceedings VIII Jornada Nacional de Asefma

Moreno E., Guisado F., Loma J., Berbis J., Potti J.J., Miranda L., Gil, M.J., Barral M., Vergel P., Gil S., 2010 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. Comunicación libre nº 38 Proceedings V Jornada Nacional de Asefma.

Norma UNE-EN 12697-6. Densidad aparente de probetas por el método hidrostático.

Norma UNE-EN 12697-12. Sensibilidad al agua de las probetas de mezcla bituminosa.

Norma UNE-EN 12697-23. Resistencia a la tracción indirecta de probetas bituminosas.

Norma UNE-EN 12697-26. Rigidez.

Norma UNE-EN 12697-30. Preparación de probetas con el compactador de impacto.

Norma UNE-EN 12697-31. Preparación de probetas con el compactador giratorio.

Norma UNE-EN 12697-32. Preparación de probetas con el compactador vibratorio.