

# ESTUDIO COMPARATIVO DE LA METODOLOGÍA DE COMPACTACIÓN GIRATORIA-IMPACTO, PARTE III

**MARISOL BARRAL,  
RAMÓN ROMERA**  
ASFALTOS CAMPEZO

**LUCÍA MIRANDA,  
FERNANDO BRAVO**  
EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS

**JOSÉ BERBIS,  
JESÚS FELIPO**  
PAVASAL

**MARISA CARMONA,  
SILVIA IZQUIERDO**  
INTROMAC

**SANTIAGO GIL,  
FRANCISCO JAVIER SUÁREZ**  
DITECPESA

**ROCÍO CERVANTES,  
JAVIER LOMA**  
ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN

**CARLOS ROYO**  
MECACISA

**JUAN JOSÉ POTTI**  
ASEFMA



---

# ESTUDIO COMPARATIVO DE LA METODOLOGÍA DE COMPACTACIÓN GIRATORIA-IMPACTO, PARTE III

---

## RESUMEN

**E**n esta comunicación se presentan los resultados correspondientes a la tercera parte del estudio comparativo entre los sistemas de compactación de mezclas bituminosas empleando el equipo de impacto (UNE-EN 12697-30) y la máquina giratoria (UNE-EN 12697-31).

En el estudio correspondiente a la parte II se presentó la correlación de las energías de compactación del equipo de impacto y giratoria para mezclas bituminosas en caliente de tipo AC16 y en esta tercera fase se amplía el estudio a las mezclas tipo AC22 y AC32. Es conveniente reseñar que para las mezclas AC32 el PG-3 exige compactación por vibración, sin embargo en este trabajo se ha seguido utilizando solo el compactador por impacto.

Para ambas mezclas se han utilizado moldes de 150 milímetros de diámetro como así indica la norma UNE-EN 12697-31 para tamaños de árido superior a 16 mm, en el caso de la compactación giratoria y en el caso de compactación por impacto se ha utilizado el molde de 101, 6 milímetros de diámetro.

Como resultados del estudio realizado se presentan:

- Para cada tipo de mezcla, los giros necesarios para alcanzar las densidades obtenidas, tanto geométricas como en superficie saturada seca,

con el método de impacto para las energías de 75 y 50 golpes por cada cara.

- Resultados de resistencias a tracción indirecta en seco, a la temperatura de 15°C, para evaluar la influencia del sistema de compactación.
- Resultados de las densidades obtenidas a partir de muestras tomadas en planta para todos los tipos de mezclas estudiadas hasta el momento: AC16, AC22 y AC32, con los dos sistemas de compactación, con la finalidad de verificar una correlación de las energías obtenidas en el estudio.
- Análisis comparativo a partir de muestras tomadas en planta y compactadas por ambas metodologías, sobre testigos extraídos en obra, evaluando características tales como densidad, sensibilidad al agua y contenido en huecos.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los parámetros de mayor importancia que permite caracterizar y clasificar las mezclas bituminosas es el contenido de huecos, dato que se obtiene a partir de los ensayos sobre probetas de mezcla bituminosa fabricadas en el laboratorio o de testigos extraídos del pavimento.

La Normativa europea recogida en la serie de normas UNE-EN 12697 permite fabricar probetas de

mezcla bituminosa con diferente metodología: impacto (parte 30), giratoria (parte 31), vibratoria (parte 32) y rodillo (parte 33). Con los 3 primeros procedimientos obtenemos probetas cilíndricas de diferente diámetro y espesor y con el último fabricamos probetas paralelepípedas con espesor variable. Las condiciones de ensayo y los equipos empleados en cada caso son diferentes, algunos más sofisticados que otros, pero en todos los casos con posibilidad de variar la energía aplicada para obtener mayor/menor densidad de la mezcla. En la tabla C1 del anexo C de la Norma UNE-EN13108-20 se indican los niveles de energía permitidos para cada sistema de compactación.

En España el método utilizado es la compactación con el método de impacto (UNE-EN 12697-30), utilizando estas probetas para la determinación del contenido de huecos y los posteriores ensayos para la caracterización mecánica de la mezcla como (tracción indirecta, compresión simple, etc...). Son probetas de geometría cilíndrica con un diámetro de 101 milímetros y fabricadas con el martillo de impacto, con una maza de peso predefinido y aplicando un número de golpes por cada cara de la probeta en un tiempo preestablecido.

El método de impacto solamente es válido para mezclas bituminosas con tamaño máximo igual o inferior a 22 milímetros, lo cual imposibilita la fabricación con este sistema, de probetas para algunos tipos de mezclas muy utilizadas en España para capas de base, como son las mezclas tipo AC32. El Artículo 542 del PG-3 señala que las probetas de este tipo de mezcla deben ser fabricadas con el sistema vibratorio, pero la escasa experiencia con este método y los primeros resultados obtenidos en algunos laboratorios (contenido de huecos excesivamente bajos) hace pensar que no es el método más adecuado.

Otros ensayos para caracterizar mezclas a nivel de laboratorio requieren probetas de ensayo con un diámetro superior de 150 o 160 milímetros, como por ejemplo el ensayo de resistencia a la propagación de fisuras según la UNE-EN 12697-44.

En la Jornada nacional de AEFMA del 2011 se presentaron los resultados de los trabajos realizados

para las mezclas con tamaño máximo de árido de 16 milímetros (AC16S y AC16D).

En la presente comunicación, continuación del anterior se establece la correlación entre la compactación giratoria y la compactación por impacto, obteniendo las energías de compactación equivalentes para mezclas tipo AC22S y AC32G.

Los laboratorios que han participado en este trabajo han sido; CAMPEZO, EIFFAGE, ELSAN, INTROMAC, DITECPESA Y PAVASAL.

## OBJETIVO

Este estudio comenzó en el año 2009 como una tarea a desarrollar dentro del grupo de trabajo 3 de Asefma. El objetivo del trabajo es determinar las energías equivalentes con dos métodos de compactación: impacto y giratoria, así como profundizar en la metodología y funcionamiento de esta última, para el caso concreto de mezclas bituminosas tipo AC que aparecen recogidas en OC 24/2008. Esta comunicación completa la anterior presentando los resultados obtenidos para las mezclas tipo AC22S y AC32G.

## METODOLOGÍA DEL TRABAJO

Para la consecución del objetivo indicado, se planteó la siguiente metodología de trabajo:

- **Definición y Selección de Mezcla objeto de estudio.**
- **Definición de un protocolo de trabajo:**  
Establecer las pautas a seguir por todos los laboratorios participantes, pudiendo tener condiciones de reproducibilidad en los resultados obtenidos.
- **Trabajo de laboratorio:**  
Ejecución de los ensayos atendiendo a las condiciones establecidas en las fases anteriores.
- **Análisis y estudio de resultados:**  
Obtenidos resultados por cada uno de los laboratorios se compilaron y analizaron con objeto de

establecer correlaciones entre los diferentes métodos, así como estudios complementarios.

Todos los equipos han sido previamente revisados en cada laboratorio para garantizar un correcto funcionamiento por todos los participantes en el trabajo. Los equipos empleados son de la marca Mecacisa, Cooper y Controls.

**SELECCIÓN DE LA MEZCLA BITUMINOSA**

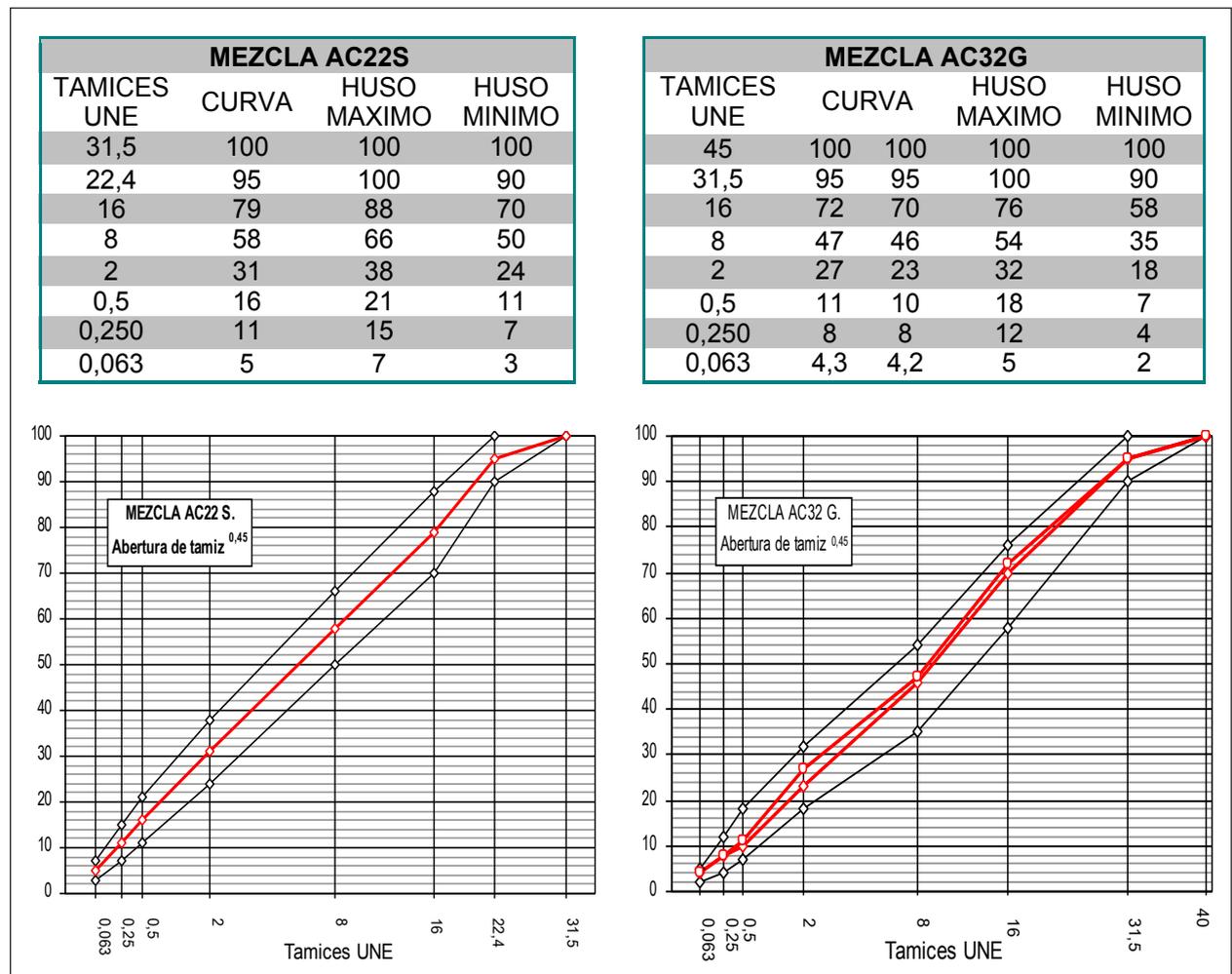
Se han utilizado dos tipos de mezclas AC una semi-densa y otra gruesa, ambas recogidas en el Artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales PG3, con distinto tamaño máximo de árido: 22 milímetros y 32 milímetros. Las mezclas han sido fabricadas en planta por Eiffage (Madrid) y Pavasal (Valencia) y las muestras fueron tomadas directamente y repartidas a todos los participantes.

La composición y las características de cada una se muestran en la tabla y gráficos que se indican a continuación:

Tabla 1: Características de las muestras tomadas.

Mezcla	AC22S	AC32G
Fabricante	Eiffage	Pavasal
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

Tabla 2: Resultados y gráficos de las granulometrías de los áridos y husos granulométricos.



### DEFINICIÓN DE UN PROTOCOLO DE TRABAJO

Al igual que en el anterior trabajo realizado para las mezclas con tamaño máximo de árido de 16 milímetros, previamente se ha establecido un protocolo de trabajo común para seguir en todos los laboratorios, indicando las condiciones de acondicionamiento de la mezcla y del ensayo de las probetas, con el siguiente contenido:

- Determinación de la composición de la mezcla, curva granulométrica de áridos y contenido de ligante, y densidad máxima de cada tipo de mezcla.
- Definición de las operaciones de fabricación de las probetas en cuanto a tiempos y temperaturas de trabajo.
- Definición de la cantidad de muestra a utilizar en la preparación de probetas compactadas tanto por impacto como por giratoria. Para el caso de la compactación con la máquina giratoria, la cantidad de muestra se determinó para una relación entre la altura mínima y el diámetro interior del molde comprendida entre 0,66 a 1,05 teniendo en cuenta la densidad máxima de la mezcla.
- Preparación de probetas aplicando 50 y 75 golpes por impacto calculando las densidades tanto por superficie saturada seca como geométrica, así como el porcentaje de huecos.
- Preparación de probetas por compactación giratoria aplicando diferentes números de giros: 80, 100, 160 y 210, los primeros se encuentran definidos en la tabla C1 de la norma UNE-EN 13108-20 y el valor de 210 giros viene señalado en la norma UNE-EN 12697-10 y que permite obtener el valor de la compactabilidad de la mezcla. Ambos tipos de mezclas se fabrican en moldes con diámetro de 150 milímetros y determinando la densidad en superficie saturada seca y geométrica, así como el porcentaje de huecos.
- Determinación de la resistencia a tracción indirecta a 15°C en seco de cada una de las pro-

betas, para comprobar los resultados que se obtienen con ambos sistemas de compactación. En el caso de las probetas fabricadas con la giratoria y con un diámetro de 150 milímetros, la altura de la probeta es superior a la longitud de las bandas de la mordaza de tracción indirecta, lo que ha requerido cortarlas según se indica en el apartado de resultados.

### TRABAJO DE LABORATORIO

A continuación se muestran los resultados obtenidos en los ensayos efectuados con ambos métodos de compactación. Se han evaluado las curvas de densidad/huecos-energía para los dos tipos de mezcla ensayados, la resistencia a tracción indirecta de todas las probetas y se ha realizado una comprobación de las densidades obtenidas a partir de muestras de planta mediante compactación por impacto y por giratoria con la energía equivalente obtenida a partir de este trabajo.

### FABRICACIÓN DE PROBETAS CON EL MÉTODO DE IMPACTO, UNE-EN 12697-30

Se han fabricado probetas con el método de compactación por impacto aplicando energías de 50 y 75 golpes por cara, determinando la densidad por el procedimiento geométrico (muestra en caliente y tras su enfriamiento) y por superficie seca saturada.

Los resultados obtenidos en los ensayos son los siguientes:

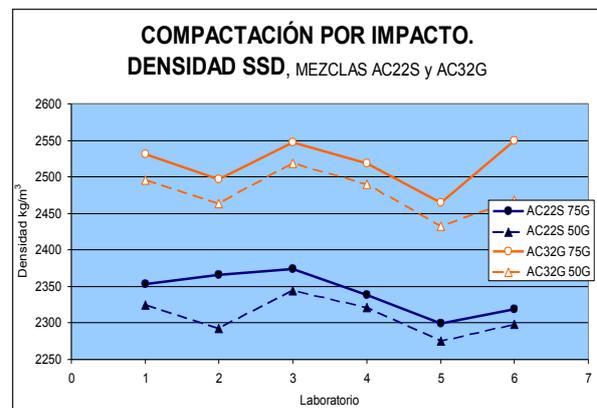


Gráfico 1: Compactación por impacto. Datos de la densidad SSD de todos los laboratorios.

Tabla 3: Resultados de la densidad SSD, geométrica y contenido de huecos para las mezclas AC22S y AC32G, así como la desviación estándar para cada método.

MEZCLA AC22S							
DATO	LAB1	LAB2	LAB3	LAB4	LAB5	LAB6	Desviación estándar
75 golpes por cada cara							
Densidad SSD, kg/m <sup>3</sup>	2353	2366	2374	2338	2299	2319	28.7
Huecos SSD, %	5,4	4,9	7,6	6,0	7,6	6,8	1.1
Densidad geométrica, kg/m <sup>3</sup>	2308	2280	2300	2247	2208	2269	36.9
50 golpes por cada cara							
Densidad SSD, kg/m <sup>3</sup>	2325	2293	2344	2321	2275	2298	25.1
Huecos SSD, %	6,5	7,8	5,8	6,7	8,6	7,6	1.0
Densidad geométrica, kg/m <sup>3</sup>	2272	2228	2272	2218	2174	2235	36.8
MEZCLA AC 32G							
DATO	LAB1	LAB2	LAB3	LAB4	LAB5	LAB6	Desviación estándar
75 golpes por cada cara							
Densidad SSD, kg/m <sup>3</sup>	2531	2497	2547	2518	2465	2549	32.3
Huecos SSD, %	4,6	5,9	4,0	6,0	7,1	3,9	1.3
Densidad geométrica, kg/m <sup>3</sup>	2492	2410	2479	2452	2409	2501	40.5
50 golpes por cada cara							
Densidad SSD, kg/m <sup>3</sup>	2496	2463	2519	2490	2433	2468	30.0
Huecos SSD, %	5,9	7,1	5,0	7,1	8,3	7,0	1.1
Densidad geométrica, kg/m <sup>3</sup>	2432	2334	2439	2412	2387	2404	38.0

El promedio de la densidad geométrica en kg/m<sup>3</sup> obtenida para cada tipo de mezcla y energía empleada para la compactación correspondiente a 50 y 75 golpes por cada cara es la que aparece en la tabla 4.

Tabla 4: Densidad geométrica media por impacto para cada laboratorio.

Tipo de mezcla	Densidad geométrica, kg/m <sup>3</sup>	
	75 golpes	50 golpes
AC22S	2269	2233
AC32G	2454	2401

### FABRICACIÓN DE PROBETAS CON EL MÉTODO DE GIRATORIA, UNE-EN 12697-31

Se han fabricado varias series de probetas con la máquina giratoria con distinta energía. En una primera fase del trabajo se fabricaron probetas con 210 giros para comprobar las curvas de densidad en todos los laboratorios participantes en el trabajo y obtener una equivalencia de la energía en giros teniendo en cuenta la densidad obtenida por impacto. Posteriormente, como veremos a continuación, se definieron 3 niveles de energía diferentes: 80, 100 y 160 giros.

El cálculo de los huecos se efectúa a partir de la densidad máxima señalada en el apartado de SE-

LECCIÓN DE LA MEZCLA. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tomando como referencia el resultado obtenido con el método de impacto, la energía equivalente

Tabla 5: Densidad geométrica y contenidos de huecos para la mezcla AC22S para cada laboratorio en función de la energía de compactación en giratoria.

Densidad geométrica, kg/m <sup>3</sup> para la mezcla AC22S								Contenido de huecos en mezcla, % de la mezcla AC22S							
Nº giros	LAB1	LAB2	LAB3	LAB4	LAB5	LAB6	PROMEDIO	Nº giros	LAB1	LAB2	LAB3	LAB4	LAB5	LAB6	PROMEDIO
10	2076	2057	2025	2042	2015	2071	<b>2048</b>	10	16,6	17,3	18,6	17,9	19,0	16,7	<b>17,7</b>
40	2179	2191	2146	2160	2141	2185	<b>2167</b>	40	12,4	11,9	13,7	13,2	13,9	12,2	<b>12,9</b>
60	2212	2228	2182	2194	2177	2222	<b>2203</b>	60	11,1	10,4	12,3	11,8	12,5	10,7	<b>11,5</b>
80	2234	2253	2207	2218	2202	2245	<b>2227</b>	80	10,2	9,4	11,3	10,8	11,5	9,8	<b>10,5</b>
100	2252	2272	2225	2235	2220	2262	<b>2244</b>	100	9,5	8,7	10,6	10,2	10,8	9,1	<b>9,8</b>
120	2265	2285	2238	2249	2235	2277	<b>2258</b>	120	8,9	8,1	10,0	9,6	10,2	8,5	<b>9,2</b>
140	2277	2296	2251	2261	2247	2287	<b>2270</b>	140	8,5	7,7	9,5	9,1	9,7	8,1	<b>8,8</b>
160	2286	2306	2259	2271	2257	2298	<b>2280</b>	160	8,1	7,3	9,2	8,7	9,3	7,6	<b>8,4</b>
180	2294	2314	2267	2279	2266	2307	<b>2288</b>	180	7,8	7,0	8,9	8,4	8,9	7,3	<b>8,0</b>
200	2301	2321	2274	2286	2274	2313	<b>2295</b>	200	7,5	6,7	8,6	8,1	8,6	7,0	<b>7,8</b>
210	2304	2324	2277	2289	2277	2318	<b>2298</b>	210	7,4	6,6	8,5	8,0	8,5	6,9	<b>7,6</b>

Tabla 6: Densidad geométrica y contenidos de huecos para la mezcla AC32S para cada laboratorio en función de la energía de compactación en giratoria.

Densidad geométrica, kg/m <sup>3</sup> AC32G								Contenido de huecos en mezcla, % AC32G							
Nº giros	LAB1	LAB2	LAB3	LAB4	LAB5	LAB6	PROMEDIO	Nº giros	LAB1	LAB2	LAB3	LAB4	LAB5	LAB6	PROMEDIO
10	2250	2205	2206	2233	2201	2265	2227	10	15,6	16,9	17,7	13,5	17,0	15,3	16,0
40	2369	2338	2327	2361	2330	2390	2353	40	11,2	11,9	13,2	8,6	12,2	10,6	11,3
60	2405	2375	2361	2397	2366	2424	2388	60	9,9	10,5	11,9	7,2	10,8	9,4	9,9
80	2429	2400	2386	2423	2392	2454	2414	80	8,9	9,5	11,0	6,2	9,8	8,3	9,0
100	2447	2419	2404	2442	2413	2472	2433	100	8,3	8,8	10,3	5,4	9,0	7,6	8,2
120	2461	2433	2417	2456	2429	2489	2448	120	7,7	8,3	9,8	4,9	8,4	6,9	7,7
140	2474	2444	2431	2469	2442	2499	2460	140	7,3	7,9	9,3	4,4	8,0	6,6	7,2
160	2484	2454	2440	2480	2451	2512	2470	160	6,9	7,5	8,9	4,0	7,6	6,1	6,8
180	2492	2462	2448	2488	2460	2521	2479	180	6,6	7,2	8,6	3,6	7,3	5,8	6,5
200	2500	2468	2456	2496	2469	2529	2486	200	6,3	7,0	8,4	3,3	7,0	5,5	6,2
210	2503	2472	2459	2499	2472	2528	2489	210	6,2	6,8	8,3	3,2	6,8	5,5	6,1

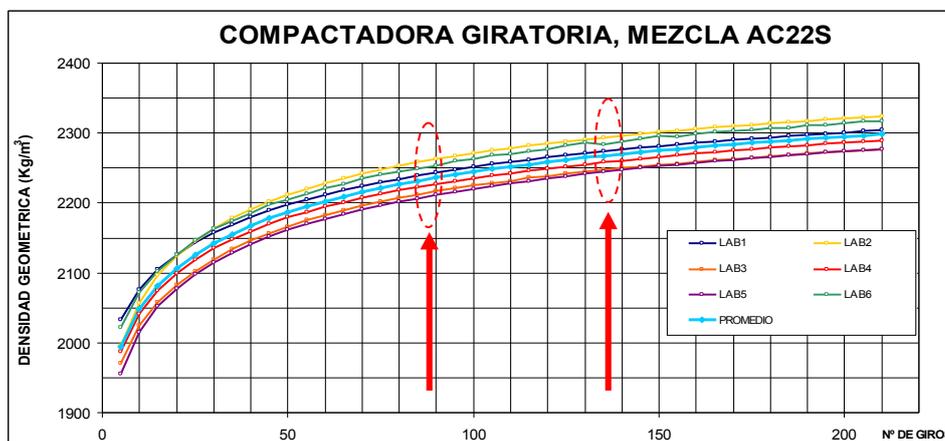


Gráfico 2: Compactación mediante la giratoria. Densidad geométrica frente a la energía para la mezcla AC22S.

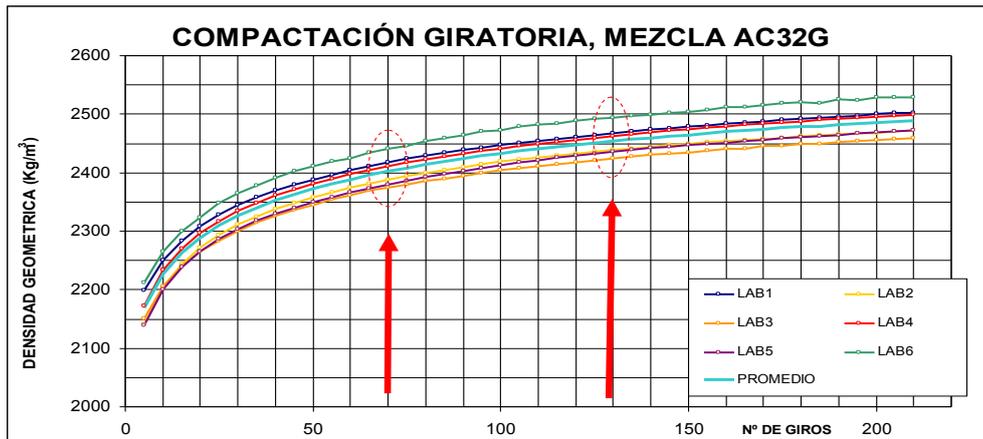


Gráfico 3: Compactación mediante la giratoria. Densidad geométrica frente a la energía para la mezcla AC32G.

Tabla 7: Equivalencia de energía con el compactador giratorio para ambas mezclas tomando la densidad geométrica por impacto como referencia.

MEZCLA/ENERGIA	Densidad 75 golpes	Giros	Densidad 50 golpes	Giros
<b>AC22S</b>	2269 kg/m <sup>3</sup>	137	2233 kg/m <sup>3</sup>	87
<b>AC32G</b>	2454 kg/m <sup>3</sup>	130	2401 kg/m <sup>3</sup>	70

con la máquina giratoria para alcanzar el mismo valor de densidad es la que aparece en la tabla 7.

Tabla 8: Compactación con la giratoria. Resultados para la mezcla AC22S.

MEZCLA AC22S							
REFERENCIA	Unid	L1	L2	L3	L4	L5	L6
<b>Energía: 80 giros</b>							
Densidad SSD en frío	kg/m <sup>3</sup>	2306	2279	2285	2285	2281	2278
Contenido en huecos SSD	%	7,3	8,4	8,2	8,2	8,3	8,5
Densidad geométrica frío	kg/m <sup>3</sup>	2227	2233	2224	2192	2201	2200
<b>Energía: 100 giros</b>							
Densidad SSD en frío	kg/m <sup>3</sup>	2323	2278	2291	2298	2302	2286
Contenido en huecos	%	6,6	8,4	7,9	7,4	7,5	8,1
Densidad geométrica frío	kg/m <sup>3</sup>	2249	2226	2229	2179	2238	2274
<b>Energía: 160 giros</b>							
Densidad SSD en frío	kg/m <sup>3</sup>	2352	2324	2329	2312	2325	2319
Contenido en huecos	%	5,5	6,6	6,4	6,9	6,6	6,8
Densidad geométrica frío	kg/m <sup>3</sup>	2287	2292	2259	2253	2253	2247

Tabla 9: Comparativa de la densidad geométricas obtenidas por impacto y giratoria a las diferentes energías para la mezcla AC22S.

Mezcla AC22S				
Giros/densidad geométrica kg/m <sup>3</sup>		80	100	160
Densidad (promedio) giratoria		2213	2232	2265
Densidad 50 golpes impacto	kg/m <sup>3</sup>	-	2235	-
Densidad 75 golpes impacto		-	-	2267

En una segunda fase de ensayos se fabricaron varias series de probetas con tres niveles diferentes de energía: 80, 100 y 160 giros. Estos niveles de energía se definieron en función de los resultados obtenidos en la búsqueda de la equivalencia de energía con la giratoria para igual densidad de referencia por impacto (ver tabla 7) y teniendo en cuenta el listado de giros que se contemplan en la tabla C1 de la norma UNE-EN 13108-20.

Los resultados obtenidos para la mezcla AC22S se muestran en las tablas 8 y 9.

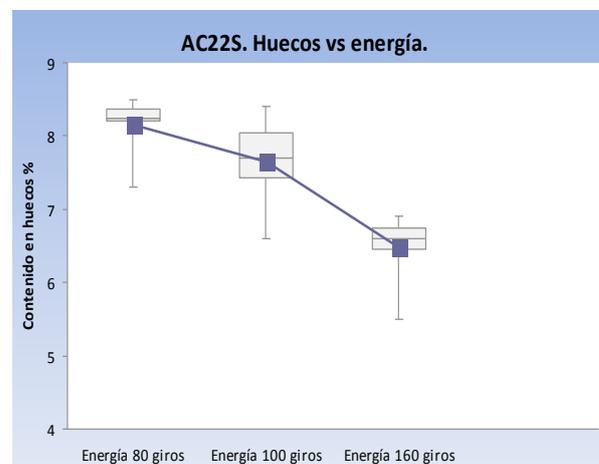


Gráfico 4: Variación del contenido en huecos determinado a partir de la densidad por SSD frente a la diferente energía para los distintos laboratorios de la mezcla AC22S.

Tabla 10: Resultados para la mezcla AC32G.

AC32G, MUESTRA 1					
REFERENCIA	Unid.	L2	L3	L4	L6
<b>Energía: 80 giros</b>					
Densidad SSD en frío	kg/m <sup>3</sup>	2429,1	2489	2495,7	2500
Contenido en huecos	%	9,4	7,1	5,9	7,7
Densidad geométrica	kg/m <sup>3</sup>	2370	2406	2391,9	2449,8
<b>Energía: 100 giros</b>					
Densidad SSD en frío	kg/m <sup>3</sup>	2427	2500	2495	2505,4
Contenido en huecos	%	9,4	6,7	6,0	8,1
Densidad geométrica	kg/m <sup>3</sup>	2382,8	2405	2411	2437,4
<b>Energía: 160 giros</b>					
Densidad SSD en frío	kg/m <sup>3</sup>	-	2549	-	2533,5
Contenido en huecos	%	-	4,9	-	6,2
Densidad geométrica	kg/m <sup>3</sup>	-	2474	-	2488

Comparativo Impacto-giratoria				
Giros/densidad geométrica kg/m <sup>3</sup>		80	100	160
Densidad (promedio)		2404	2409	2481
Densidad 50 golpes impacto	kg/m <sup>3</sup>	2403	-	-
Densidad 75 golpes impacto		-	-	2460

AC32G, MUESTRA 2						
REFERENCIA	Unid.	L1	L2	L4	L5	L6
<b>Energía: 80 giros</b>						
Densidad SSD en frío	kg/m <sup>3</sup>	2396	-	2414	2376	2385
Contenido en huecos	%	10,6	-	9,0	8,4	10,1
Densidad geométrica	kg/m <sup>3</sup>	2297	-	2279	2286	2280
<b>Energía: 100 giros</b>						
Densidad SSD en frío	kg/m <sup>3</sup>	2415	-	-	2392	2401
Contenido en huecos	%	9,9	-	-	7,6	9,5
Densidad geométrica	kg/m <sup>3</sup>	2319	-	-	2318	2322
<b>Energía: 160 giros</b>						
Densidad SSD en frío	kg/m <sup>3</sup>	2446	2437	2456	2427	2432
Contenido en huecos	%	8,7	9,1	7,4	6,2	8,3
Densidad geométrica	kg/m <sup>3</sup>	2368	2391	2331	2359	2367

Comparativo impacto-giratoria				
Giros/densidad geométrica kg/m <sup>3</sup>		80	100	160
Densidad (promedio)		2285	2320	2363
Densidad 50 golpes impacto	kg/m <sup>3</sup>	-	2322	-
Densidad 75 golpes impacto		-	-	2359

De la mezcla AC32G, por falta de remanente, se fabricaron probetas con 2 muestras diferentes, lo que ha sido tenido en cuenta en la densidad de referencia. Los resultados se muestran en la tabla 10.

Para ambos tipos de mezclas, AC22 y AC32, en las tablas 9 y 10 se muestran los valores obtenidos para cada escalón de energía junto con la densidad resultante con el método de impacto para las energías de 50 y 75 golpes, obteniendo un valor similar de la energía correspondiente a los 75 golpes con impacto (160 giros).

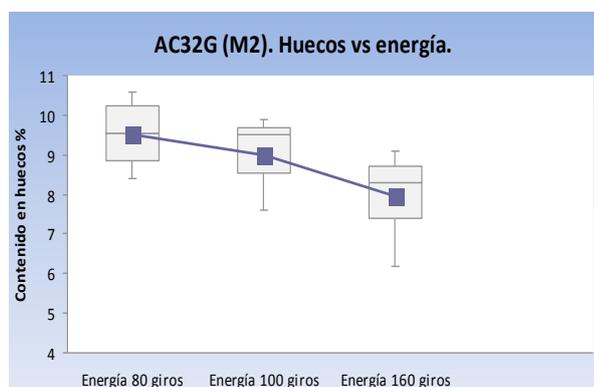


Gráfico 5: Variación del contenido en huecos determinado a partir de la densidad por SSD frente a la diferente energía para los distintos laboratorios de la mezcla AC32G.

### FABRICACIÓN DE PROBETAS CON EL MÉTODO DE GIRATORIA, UNE-EN 12697-31 CON PRECOMPACTACIÓN

Generalmente la forma de las curvas de compactación obtenidas por todos los laboratorios son parecidas, pero comienzan en valores diferentes de densidad. Por ello se ha realizado un trabajo fabricando probetas aplicando una precompactación inicial al 90 % de la densidad de referencia con el fin de intentar "igualar" los inicios de las mismas y comprobar la forma de la curva así como las densidades finales resultantes.

Para la mezcla AC22S la precompactación se realiza hasta alcanzar 2050 kg/m<sup>3</sup> y en el caso de la mezcla AC32G la precompactación se realiza hasta alcanzar una densidad de 2200 kg/m<sup>3</sup>, en ambos casos se trata de densidad geométrica.

El gráfico 6 muestra los resultados obtenidos para la mezcla AC22S, los mismos resultados se han obtenido para la mezcla AC32G. Se muestra que la precompactación efectivamente iguala en mayor medida el inicio de la compactación para los distintos laboratorios, perdiendo información en cuanto a cómo es la evolución inicial de la densidad de la mez-

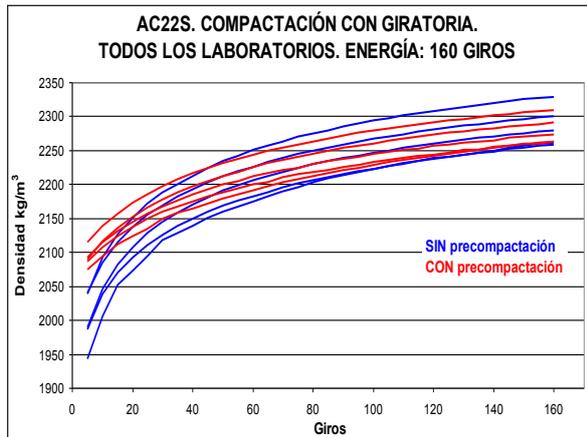


Gráfico 6: Curvas de compactación por la giratoria con y sin precompactación para la mezcla AC22S.

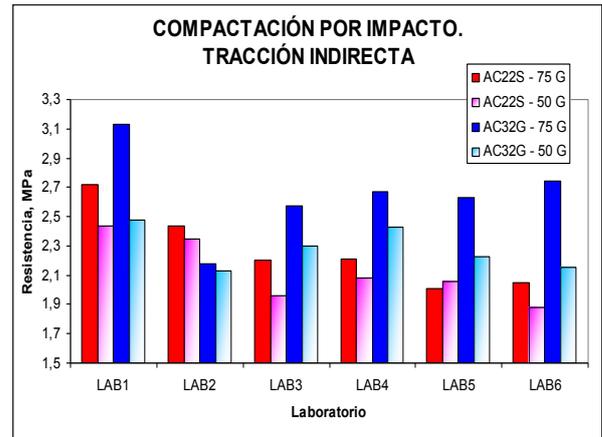


Gráfico 7: Comparativa de las resistencias a tracción indirecta POR IMPACTO para las distintas mezclas.

cla. En el resto de la traza de las curvas, las probetas fabricadas con precompactación tienden a igualarse con las probetas sin precompactación, alcanzándose valores de densidad final similares. Valorando únicamente este aspecto (la densidad), no parece necesario realizar un proceso de precompactación previo.

**RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA DE LAS PROBETAS FABRICADAS CON IMPACTO Y GIRATORIA**

Los resultados de los ensayos de rotura a tracción indirecta (UNE-EN 12697-23) efectuados sobre probetas con el método de impacto a una temperatura de 15 °C y aplicando las energías de 75 y 50 golpes son los que se muestran en la tabla 11 y gráfico 7.

Una peculiaridad a tener en cuenta en el caso de la compactación con giratoria es que, con probetas de un diámetro de 150 milímetros, se necesita una al-

Tabla 11: Resultados de la resistencia a tracción para ambas mezclas a 15 °C.

Energía	AC22S		AC32G	
	75 golpes	50 golpes	75 golpes	50 golpes
LAB1	2,72	2,44	3,13	2,48
LAB2	2,44	2,35	2,18	2,13
LAB3	2,20	1,96	2,57	2,3
LAB4	2,21	2,08	2,67	2,43
LAB5	2,01	2,06	2,63	2,23
LAB6	2,05	1,88	2,74	2,15
Desv. estándar	0,27	0,22	0,31	0,14

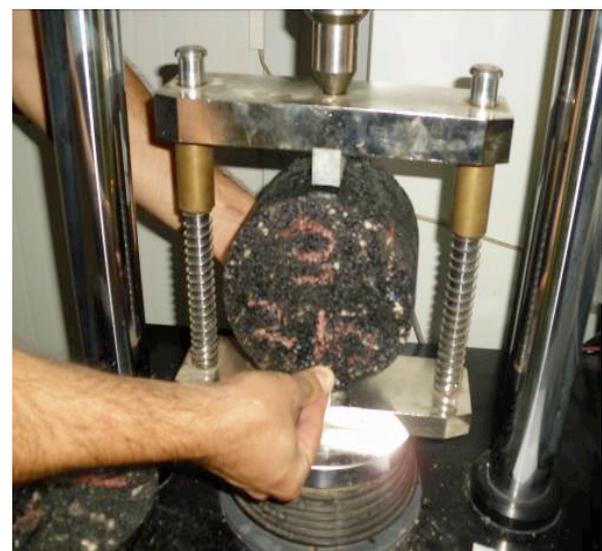


Foto 1: Vista lateral de la morzada, con una probeta de un espesor superior a 80 mm (sup.). Vista frontal de la probeta con espesor superior a 80 mm (inf.).

Tabla 12: Resistencia a tracción indirecta (MPa) para la mezcla AC22S para los distintos giros estudiados.

MEZCLA AC22S	L1	L2	L3	L4	L5	L6
<b>210 GIROS</b>	2,35	1,85	1,82	2,53	1,89	1,67
<b>80 GIROS</b>	1,91	1,12	1,78	0,98	1,24	1,03
80 GIROS PRECOMP.	2,11	1,11	2,01	1,14	1,49	-
<b>100 GIROS</b>	2,16	1,27	1,89	1,00	1,78	1,04
100 GIROS PRECOMP	2,23	1,31	1,80	1,21	1,85	1,04
<b>160 GIROS</b>	2,34	1,48	2,19	1,19	1,82	1,12
160 GIROS PRECOMP.	2,44	1,50	2,24	1,11	1,84	1,14

tura mínima de 100 milímetros con el objeto de asegurar una relación altura diámetro superior a 0,66, según señala la Norma de ensayo. Sin embargo, las bandas de apoyo que tiene la mordaza para el ensayo de tracción indirecta tiene una longitud inferior de 80 milímetros, por lo que durante la rotura una parte de las probetas quedaría en el aire sin contacto con la mordaza. Para evitar esto se han serrado todas las probetas por uno de los lados para conseguir una altura final de probeta de unos 70 milímetros.

En las tablas 12 y 13 se muestran los resultados obtenidos de resistencias a tracción indirecta con la compactación giratoria para las diferentes energías estudiadas.

Como puede apreciarse en el gráfico 8 (AC22S), la tendencia es lograr valores de resistencia superiores en las series de probetas fabricadas con mayor ener-

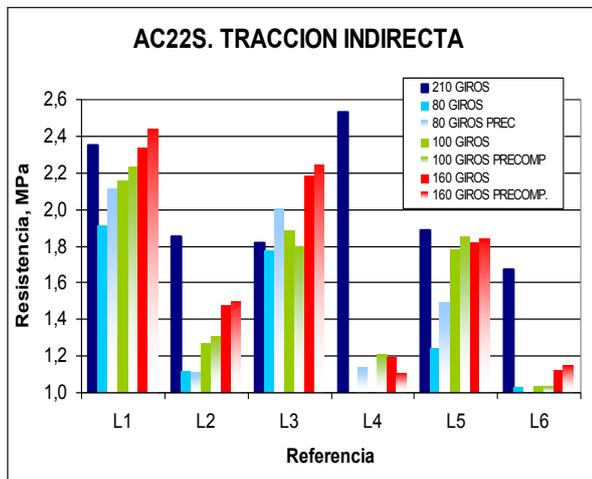
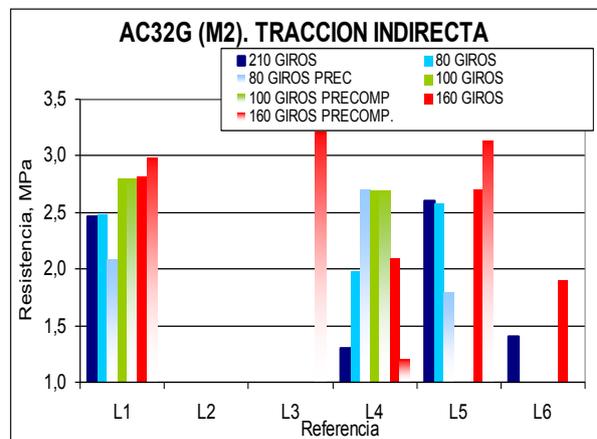
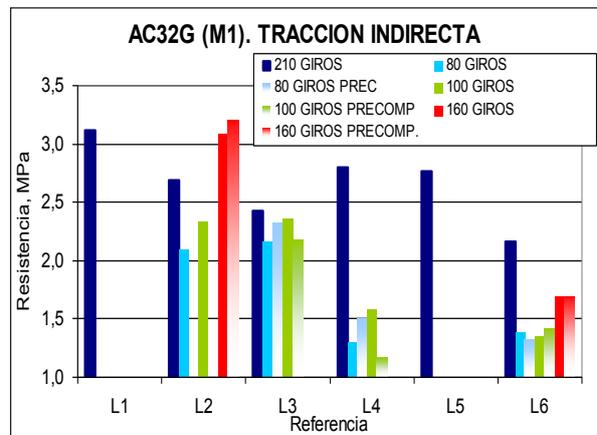


Gráfico 8: Comparativa de las resistencias a tracción indirecta mediante la giratoria para la mezcla AC22S.

Tabla 13: Resistencia a tracción indirecta (MPa) para la mezcla AC32G para ambas muestras y para los distintos giros estudiados.

MEZCLA AC32G ( Muestra 1)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
<b>210 GIROS</b>	3,12	2,69	2,42	2,80	2,77	2,16
<b>80 GIROS</b>	-	2,10	2,16	1,30	-	1,39
80 GIROS PRECOMP.	-	-	2,33	1,50	-	1,32
<b>100 GIROS</b>	-	2,34	2,36	1,58	-	1,36
100 GIROS PRECOMP	-	-	2,17	1,16	-	1,42
<b>160 GIROS</b>	-	3,09	-	-	-	1,69
160 GIROS PRECOMP.	-	3,21	-	-	-	1,69

MEZCLA AC32G (Muestra 2)	L1	L3	L4	L5	L6
<b>80 GIROS</b>	2,46	-	1,30	2,60	1,40
80 GIROS PRECOMP.	2,49	-	1,98	2,58	-
<b>100 GIROS</b>	2,08	-	2,70	1,80	-
100 GIROS PRECOMP	2,80	-	2,69	-	-
<b>160 GIROS</b>	2,82	-	2,10	2,70	1,90
160 GIROS PRECOMP.	2,98	3,21	1,20	3,13	-



Gráficos 9 y 10: Comparativa de las resistencias a tracción indirecta mediante la giratorio para la mezcla AC32G (M1 sup. y M2 inf.)

gía, al igual que la diferenciación de los resultados para las probetas fabricadas con precompactación, con valores superiores a las probetas fabricadas sin precompactación.

En el caso de la mezcla AC32G en el ensayo de resistencia a tracción indirecta no hay una tendencia clara de comportamiento, alcanzando resistencias superiores con probetas fabricadas con menor energía, aspecto que puede ser lógico teniendo en cuenta la granulometría de este tipo de mezcla.

### ANÁLISIS Y ESTUDIO DE RESULTADOS

Una vez obtenidos los datos de la fase de laboratorio, se continúa ampliando el trabajo realizando estudios que nos permitan correlacionar propiedades tales como la compactabilidad, comparativa con trabajos en obra, y tratamientos estadísticos de los resultados obtenidos con objeto de determinar tendencias de repetibilidad y reproducibilidad

#### ESTUDIO DE LAS CURVAS DE COMPACTACIÓN Y COMPACTIBILIDAD

El estudio de la curva de compactación nos puede proporcionar una valiosa información de cómo se va a comportar una mezcla asfáltica durante el proceso de puesta en obra, información importante para definir el equipo de compactación en cada caso, e incluso predecir alguna propiedad mecánica de ésta durante su vida de servicio. Por ejemplo en el SUPERPAVE se estudia el área bajo la curva desde el giro 8 hasta alcanzar un 92% de la densidad máxima, es decir, hasta alcanzar un contenido en huecos del 8%. A esta área se le denomina Coeficiente CEI (Compaction Energy Index) y, según señala la bibliografía, cuanto menor es este valor más fácilmente compactable es una mezcla asfáltica.

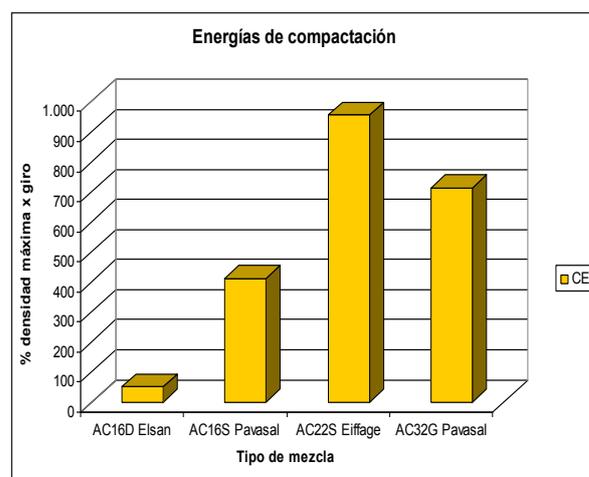


Gráfico 11: Coeficiente CEI para las cuatro mezclas AC estudiadas hasta la fecha.

La siguiente figura muestra el valor del coeficiente CEI para los 4 tipos de mezclas asfálticas estudiadas hasta la fecha (medidas tomadas con el ángulo europeo 0,82 °).

Si analizáramos la parte final de la curva de compactación o la evolución del esfuerzo cortante, podríamos predecir el comportamiento de estas mezclas asfálticas frente a las deformaciones plásticas. Estos datos nos pueden ayudar durante la selección de la fórmula de trabajo para diseñar mezclas asfálticas con mejor comportamiento frente a la formación de roderas, como un ensayo preliminar.

Así mismo, se realizó un estudio de la compactabilidad de las muestras según apartado 7.2 de la Norma UNE-EN 12697-10 teniendo como referencia la densidad máxima, para el cálculo del % de contenido de huecos, la definida en el apartado de Selección de la mezcla bituminosa. Se calcularon los parámetros de la ecuación descrita en la norma utilizando el método de mínimos cuadrados aplicado a los datos para un número de giros igual o superior a 20.

Tabla 14. Valores compactabilidad mezcla AC22S.

Muestra AC22S	LAB 1	LAB 2	LAB 3	LAB 4	LAB 5	LAB 6	PROMEDIO
Contenido de huecos calculado para un giro (v(1))	23,6	24,3	25,8	25,0	26,4	24,1	24,9
Compactibilidad (K)	3,06	3,35	3,28	3,21	3,38	3,25	3,25

Con los promedios y calculando los giros en los que se alcanzaría el porcentaje de huecos equivalente a la compactación por impacto a 75 y 50 golpes según la ecuación descrita en norma:

$$v(ng) = v(1) - (K * \ln ng)$$

donde:

- $v(ng)$  contenido de huecos para un número de giros,  $ng$ , expresado en tanto por ciento.
- $ng$  es el número de giros.

Así se obtiene:

Tabla 15. Energía equivalente impacto-giratoria para la mezcla AC22S.

MEZCLA/ENERGIA	75 golpes	Giros	50 golpes	Giros
AC22S	2269	140	2233	90

Realizando los mismos cálculos para la muestra AC32G los resultados los podemos ver en la tabla 16.

Así se obtiene:

Tabla 17. Energía equivalente impacto-giratoria para la mezcla AC32G.

MEZCLA/ENERGIA	75 golpes	Giros	50 golpes	Giros
AC32G	2454	133	2401	71

Las ecuaciones obtenidas para todas las mezclas estudiadas hasta el momento se representan en el gráfico 12.

Estos resultados, obtenidos mediante el estudio matemático comentado, están en concordancia con las energías definidas en giros para cada tipo de mezcla según lo expuesto en el apartado *Fa-*

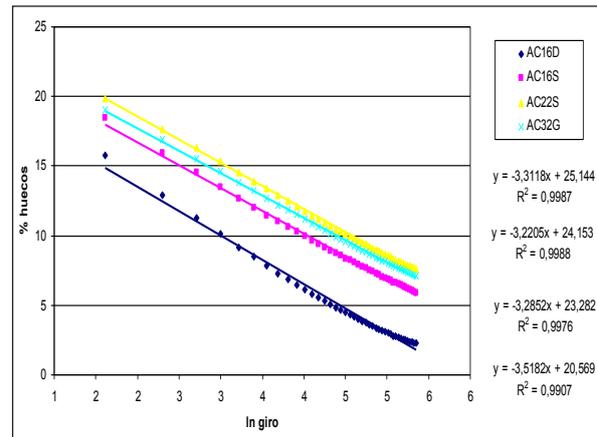


Gráfico 12: Representación gráfica y ecuaciones de compactibilidad para las cuatro mezclas estudiadas hasta el momento.

bricación de probetas con el método de giratoria, UNE-EN 12697-31.

### ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS OBRA-LABORATORIO

Para determinar el comportamiento real de una mezcla y evaluar cual es el método de ensayo más adecuado para fabricar probetas en laboratorio, se ha realizado un ejercicio comparativo consistente en lo siguiente:

- Toma de muestra en la planta de fabricación. Fabricación de probetas con impacto y giratoria.
- Seguimiento de la mezcla y situación en la obra.
- Extracción de testigos en la zona de extendido correspondiente a la toma de muestra.
- Determinación de la densidad, rigidez y de la tracción indirecta.

Los resultados se muestran en la tabla 18.

Tabla 16. Valores compactibilidad mezcla AC32G.

Muestra AC232G	LAB 1	LAB 2	LAB 3	LAB 4	LAB 5	LAB 6	Promedio
Contenido de huecos calculado para un giro ( $v(1)$ )	22,9	24,2	24,5	23,7	25,1	22,8	23,9
Compactibilidad (K)	3,07	3,12	3,06	3,20	3,27	3,24	3,16

Tabla18: Resultados comparativos obra- laboratorio para distintas mezclas bituminosas y varios laboratorios.

Laboratorio	LAB1	LAB2			
Tipo Mezcla	AC16S	AC22MAM	AC22MAM	AC22S	AC22S
	<b>IMPACTO</b>				
Diámetro probeta (mm)	100,1				
Densidad SSD impacto 75 golpes (kg/m <sup>3</sup> )	2427	2406	2418	2393	2406
Tracción indirecta 15°C (MPa)	--	3,58	3,63	2,40	2,34
Rigidez, 20 °C (MPa)	--	10462	11241	4891	4216
	<b>GIRATORIA</b>				
Diámetro probeta (mm)	100	150			
Densidad SSD giratoria 100 giros (kg/m <sup>3</sup> )	2482	--	--	--	--
Densidad SSD giratoria 160 giros (kg/m <sup>3</sup> )	--	2424	2396	2376	2408
Tracción indirecta 15°C (MPa)	2,36	3,76	3,12	2,24	2,38
Rigidez, 20 °C (MPa)	--	12536	16344	6863	6902
	<b>TESTIGOS</b>				
Diámetro probeta (mm)	100				
Densidad testigos SSD (kg/m <sup>3</sup> )	2396	2351	2396	2314	2309
Tracción indirecta testigos 15 °C (MPa)	1,17	2,62	3,26	1,62	1,48
Rigidez, 20 °C (MPa)	--	5209	7198	2913	1939

**ANÁLISIS DE DENSIDADES DE MEZCLA DE CONTROL DE PRODUCCIÓN CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE COMPACTACIÓN**

Se han realizado comprobaciones con mezclas tomadas en el control de producción en fábrica en varias instalaciones para verificar las energías de compactación obtenidas en los estudios efectuados.

Las mezclas bituminosas se fabrican en plantas asfálticas diferentes con áridos de distinta naturaleza. En el caso de las mezclas tipos AC16 y AC22, las probetas se compactan con el método de im-

pacto y 75 golpes por cada cara y la densidad se determina en todos los casos por superficie seca saturada. Para la compactación con la máquina giratoria se ha empleado una energía de 100 giros en las probetas con diámetro de 100 milímetros de la mezcla AC16 (valor de la energía obtenido en el trabajo anterior) y una energía de 160 giros con las probetas de diámetro 150 milímetros para las mezclas tipo AC22, determinando para todos la densidad por superficie saturada seca.

Los resultados obtenidos en este trabajo son los que se muestran en la tabla 19:

Tabla 19: Resultados comparativos de la densidad impacto-giratoria para distintas mezclas bituminosas tipo AC tomadas de planta con la energía en giros definida en este trabajo.

TIPO DE MEZCLA	IMPACTO	GIRATORIA	DIFERENCIA	% DE COMPACTACIÓN
AC16 35/50 S	2474	2494	-20	100,8
AC16 35/50 S	2425	2431	-6	100,2
AC16 50/70 S	2380	2362	18	99,2
AC16 45/80-65 S	2548	2528	20	99,2
AC16 35/50S	2350	2395	-45	101,9
AC16 35/50S	2333	2390	-57	102,4
AC16 50/70D	2357	2394	-37	101,6
AC16 35/50 D	2390	2387	3	99,9
AC16 50/70 D	2377	2378	-1	100,0
AC16 50/70 D	2342	2313	29	98,8
AC16 50/70 D	2381	2366	15	99,4
AC16 50/70 D	2388	2356	32	98,7
AC16 50/70 D	2388	2367	21	99,1
AC16 50/70 D	2388	2370	18	99,2
AC16 50/70 D	2384	2389	-5	100,2
AC16 50/70 D	2445	2397	48	98,0
AC16 50/70 D	2247	2281	-34	101,5
AC16 50/70 D	2274	2292	-18	100,8
AC16 50/70 D	2324	2358	-34	101,5
AC16 50/70 D	2513	2556	-43	101,7
AC16 50/70 D	2500	2521	-21	100,8
AC16 50/70 D	2590	2658	-68	102,6
AC16 50/70 D	2582	2643	-61	102,4
AC22 15/25 S MAM	2466	2453	13	99,5
AC22 15/25 S MAM	2424	2406	18	99,3
AC22 15/25 S MAM	2442	2411	31	98,7
AC2250/70S	2376	2393	-17	100,7
AC2250/70S	2408	2406	2	99,9
AC2250/70S	2405	2398	7	99,7
AC22 50/70 G	2384	2403	-19	100,8
AC32 50/70 G	2475	2477	-2	100,1

Nota: En la columna del % de compactación se indica el porcentaje de la densidad obtenida con la máquina giratoria respecto a la densidad obtenida con el equipo de impacto, siendo el promedio de los valores 100,3 % y la desviación estándar 1,23.

### ESTUDIO ESTADÍSTICO

Con el objetivo de poder disponer de información sobre la repetibilidad y reproducibilidad de los resultados que se han obtenido en las diferentes determinaciones (densidad en SSD, huecos en SSD y densidad geométrica) tanto con el empleo de la compactación giratoria como de impacto, se procedió a realizar un estudio estadístico de los valores obtenidos entre todos los laboratorios así como sus repeticiones. Este estudio ha sido realizado por el momento solo para la mezcla AC22S dado que

es de la que se dispone de más información. No se han considerado los datos de la AC32G por tratarse de dos mezclas diferentes que no han sido repetidas por todos los laboratorios. Hay que considerar que este estudio es sólo un inicio que se espera completar con la participación de más laboratorios así como con la realización de un mayor número de repeticiones.

El estudio se ha realizado en primer lugar con la comprobación de la existencia o no de valores aberrantes tanto para valores obtenidos por el mismo

Tabla 20: Identificación de los valores aberrantes y anómalos detectados tras el test de Cochram para las características determinadas con diferentes energías de compactación (impacto/giros).

Característica	Energía de compactación					
	50 golpes	75 golpes	80giros	100 giros	160 giros	210 giros
Densidad SSD	1 valor Aberrante	Todos los valores válidos	Todos los valores válidos	1 valor aberrante	Todos los valores válidos	1 valor aberrante
Densidad geométrica	1 valor Aberrante	1 valor anómalo	Todos los valores válidos	1 valor anómalo	Todos los valores válidos	Todos los valores válidos
Huecos SSD	1 valor Aberrante	1 valor aberrante	1 valor anómalo	1 valor aberrante	Todos los valores válidos	1 valor aberrante

laboratorio, a través del test de Cochram, como para valores entre varios laboratorios a través del test de Grubbs siguiendo la norma UNE 82009-2 "Exactitud (veracidad y precisión) de resultados y métodos de medición. Parte 2: Método básico para la determinación de la repetibilidad y la reproducibilidad de un método de medición normalizado".

A partir del test de Cochram se determinan los valores que son aberrantes o anómalos en condiciones de repetibilidad, para los diferentes participantes. En este estudio se ha comprobado que para algunas de las determinaciones de características para diferentes giros así como impactos, en algunos casos se detectan valores anómalos y aberrantes que deberían ser eliminados para completar el estudio. En concreto estos valores se han detectado en las siguientes determinaciones (ver tabla 20).

A continuación se procedió a la aplicación del test de Grubbs evaluando también la existencia o no de valores aberrantes o anómalos. En este caso para todas las características, y diferentes energías de compactación, el estudio estadístico muestra que no es necesario en ninguno de los casos la eliminación de valores aberrantes tras cumplir el requerimiento exigido por este test.

Una vez evaluados todos los valores se procedió a la estimación de los valores de repetibilidad y repro-

ducibilidad para las diferentes características frente a las diferentes energías de compactación, determinados a partir de las desviaciones estándar correspondientes.

Para la estimación de la repetibilidad se han tomado los tres valores obtenidos de las diferentes probetas fabricadas en cada caso (ya sea por impacto como por giratoria).

Para la estimación del valor de reproducibilidad para las diferentes muestras, así como diferentes participantes, se realizó el estudio según lo indicado en la norma UNE 82009-2 teniendo en cuenta la desviación estándar de repetibilidad y la de interlaboratorio dando como valor global la desviación estándar de reproducibilidad a través de la siguiente fórmula.

$$S_R^2 = S_r^2 + S_L^2$$

Los cálculos se han realizado por separado para las diferentes medidas. Para el cálculo se ha tenido en cuenta la desviación estándar de repetibilidad (Sr) entre los diferentes participantes así como la desviación interlaboratorio (SL). Teniendo en cuenta todos estos valores y sumando todos ellos, a través del método de propagación de varianzas.

Los resultados finales obtenidos se muestran en las siguientes tablas 21 y 22.

Tabla 21. Parámetros de repetibilidad y reproducibilidad para el % huecos en ssd y diferentes energías de compactación.

<b>Parámetro</b>	<b>50 golpes</b>	<b>75 golpes</b>	<b>80 giros</b>	<b>100 giros</b>	<b>160 giros</b>	<b>210 giros</b>
<b>SR</b>	1,17	0,78	0,47	0,48	0,6	0,49
<b>R</b>	3,3	2,2	1,34	1,38	1,72	1,38
<b>Sr</b>	0,31	0,26	0,3	0,27	0,33	0,28
<b>r</b>	0,87	0,74	0,85	0,81	0,93	0,81

Tabla 22. Parámetros de repetibilidad y reproducibilidad para la densidad en ssd y diferentes energías de compactación.

<b>Parámetro</b>	<b>50 golpes</b>	<b>75 golpes</b>	<b>80 giros</b>	<b>100 giros</b>	<b>160 giros</b>	<b>210 giros</b>
SR	21,2	19,6	12,8	16,23	15,91	12,13
R	59	55,5	36,3	45,9	44,99	34,31
Sr	7,5	6,18	9,75	6,53	7,07	7,21
r	21	17,5	27,58	18,49	20	20,38

Tabla 23: Parámetros de repetibilidad y reproducibilidad para la densidad geométrica y diferentes energías de compactación.

<b>Parámetro</b>	<b>50 golpes</b>	<b>75 golpes</b>	<b>80 giros</b>	<b>100 giros</b>	<b>160 giros</b>	<b>210 giros</b>
<b>SR</b>	38,3	23,9	22,4	33,39	21,28	21,95
<b>R</b>	108	67,7	63,49	94,46	60,2	62,88
<b>Sr</b>	12,6	8,06	15,05	12,96	11,07	5
<b>r</b>	35,5	22,8	42,58	36,66	31,3	14,14

A la vista de los resultados obtenidos para los diferentes parámetros, y teniendo en cuenta que este estudio es solo un inicio, y se podría decir que un tanteo, dado que son pocos los laboratorios participantes así como el número de muestras, sin embargo se observa que se mantiene para los diferentes números de giros unos valores aproximados entre todos ellos, igualmente en la comparativa con la energía de impacto los valores son del mismo orden.

Un aspecto a destacar son los valores obtenidos para el contenido de huecos, al observarse como

la desviación estándar (tanto de repetibilidad como reproducibilidad) es inferior para el caso del proceso de compactación giratorio con respecto al proceso de preparación de las probetas por impacto. Este hecho se podría asociar a una mejor colocación de los áridos dentro de la mezcla durante la compactación.

A partir de los datos obtenidos se procederá a su comprobación continuando con la repetición de medidas y evaluación del cumplimiento de los parámetros.

## CONCLUSIONES

Esta comunicación corresponde a la tercera fase del estudio de la compactación con la máquina giratoria iniciado en el Grupo de trabajo 3 de Asefma entre las siguientes empresas: EIFFAGE, DITECPE-SA, CAMPEZO, INTROMAC, PAVASAL y ELSAN. Las conclusiones obtenidas por los participantes en este trabajo son las siguientes:

- Se indican los resultados obtenidos en 6 laboratorios de los ensayos efectuados para distintas metodologías de compactación de probetas recogidas en la normativa europea, impacto y giratoria, con el fin de determinar la energía equivalente en ambas. Se han utilizado 2 tipos de mezclas con tamaño máximo de árido 22 y 32 milímetros (AC22S y AC32G), ligantes de diferente penetración y naturaleza de los áridos, ambas tomadas del proceso de fabricación de una planta asfáltica. También se ha efectuado con todas las probetas fabricadas con las dos metodologías, ensayos de tracción indirecta.
- Se indican los resultados obtenidos en el anillo interlaboratorios en cuanto a la energía que se debe aplicar con la máquina giratoria para alcanzar la densidad que se obtiene con el equipo de impacto para 75 y 50 golpes por cada cara de la probeta.

Tabla 24: Equivalencia energías impacto-giratoria.

MEZCLA/ENERGIA	Giros equivalente a 75 golpes	Giros equivalentes a 50 golpes
AC32	160	80
AC22	160	100
AC16 (*)	100	80

(\*) Resultados obtenidos en el trabajo presentado en la Jornada de Asefma de 2011.

Los valores que se indican en la tabla 24 se han tomado a partir de los resultados obtenidos en los diferentes trabajos y teniendo en cuenta los

niveles permitidos en la tabla C.1 de la Norma UNE-EN 13108-20.

- El trabajo realizado con precompactación inicial en la giratoria no parece aportar información importante respecto a los valores finales de la compactación en los diferentes laboratorios, obteniendo en todos los casos densidades finales muy parecidas a las probetas fabricadas sin este proceso de precompactación.
- En la tabla 18 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a tracción indirecta y ensayo de rigidez, en un trabajo comparativo realizado sobre probetas fabricadas con los sistemas de compactación giratoria e impacto y testigos extraídos de la obra. Los resultados para las probetas fabricadas con la máquina giratoria son muy parejos a los valores que se alcanzan en las probetas fabricadas con la metodología de impacto, y en ambos casos superiores a los valores que se obtienen con los testigos extraídos de la obra.
- El estudio de la compactabilidad y el coeficiente de energía CEI en las mezclas pueden ayudar a complementar la información de una mezcla bituminosa en cuanto a su comportamiento.
- Se han comprobado en varios laboratorios de las empresas fabricantes de mezclas bituminosas y participantes en el trabajo, los valores recomendados fabricando series de probetas con ambas metodologías de compactación y con diferentes materiales y centros de fabricación de mezclas bituminosas. Se puede apreciar la similitud de resultados obtenidos para varios tipos de mezclas bituminosas. Igualmente se aportan los resultados que se han obtenido en un trabajo de correlación entre los dos sistemas de compactación y testigos extraídos de la obra.

La continuación de este trabajo de anillo está pendiente de la formación de la Agrupación de Laboratorios en Asefma, con el objetivo de participar un número más elevado de laboratorios.