

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA METODOLOGÍA DE COMPACTACIÓN GIRATORIA-IMPACTO. PARTE IV (B), MEZCLAS POROSAS

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

**MARISOL BARRAL
Y RAMÓN ROMERA**
ASFALTOS CAMPEZO

**MARÍA ELENA HIDALGO,
FRANCISCO SERRANO
Y FERNANDO BRAVO**
EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS

**JOSÉ BERBIS
Y JESÚS FELIPO**
PAVASAL

ELENA SAEZ
ACCIONA

MARISA CARMONA
INTROMAC

**SANTIAGO GIL Y
FRANCISCO JAVIER SUÁREZ**
DITECPESA

JOSÉ MANUEL BERENGUER
LOS SERRANO

ANTONIO GARCÍA
PROAS

EMILIO MORENO
REPSOL

**JOSÉ ANTONIO SOTO,
XAVIER ANGULO
Y PEDRO VERGEL**
SORIGUE

**DANIEL ANDALUZ
Y FERNANDO VALOR**
CIESM-INTEVIA

JOSÉ LUIS LÚCIA
SACYR

CARLOS ROYO
MECACISA

CARLOS PEÑA
ASFALTOS VICÁLVARO

**JOSÉ LUIS PEÑA
Y JUAN JOSÉ POTTI**
ASEFMA

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA METODOLOGÍA DE COMPACTACIÓN GIRATORIA-IMPACTO.

PARTE IV (B), MEZCLAS POROSAS

RESUMEN

Dentro de la normativa europea de ensayos de mezclas bituminosas en la serie EN 12697, se recogen 4 sistemas distintos de compactación de probetas: impacto (parte 30), giratoria (parte 31), martillo vibrante (parte 32) y rodillo (parte 33), las tres primeras para preparar probetas cilíndricas y la última (rodillo) para fabricar probetas prismáticas.

En las diferentes normas de ensayo se indica que procedimientos pueden utilizarse en cada caso y las dimensiones de las probetas, que depende fundamentalmente del tamaño máximo nominal del árido.

Durante muchos años en España se ha utilizado la compactación con el equipo de impacto (anteriormente denominado compactación con el equipo Marshall), que según la normativa actual (UNE-EN 12697-30) no permite fabricar probetas de mezclas con áridos con tamaño superior a 22 milímetros, quedando fuera de aplicación las mezclas tipo AC22 y AC32.

Ante la necesidad de utilizar un nuevo sistema de compactación de probetas de mezclas bituminosas, desde hace unos años se viene trabajando, en un grupo de ALEAS (Agrupación de Laboratorios de Asefma), en establecer la correlación de la energía equivalente, impacto-giratoria, para la fabricación de las probetas de las mezclas más utilizadas en nuestro país, como son las mezclas AC (16,22 y 32), BBTM (A y B), SMA y PA.

En esta comunicación se presentan los resultados finales obtenidos en los estudios realizados durante cuatro años dentro del grupo de trabajo, recomendando diferentes grados de energía, equivalente a número de giros, para cada una de las familias de mezclas estudiadas, así como los trabajos y resultados obtenidos para mezclas porosas, completando así las familias de mezclas bituminosas que se utilizan en España.

1. INTRODUCCIÓN

La normativa de ensayos europea para mezclas bituminosas, serie UNE-EN 12697, permite compactar las probetas con 4 procedimientos diferentes, 3 de ellos para compactar probetas cilíndricas y el cuarto para compactar probetas prismáticas. La posibilidad, y necesidad en algunos casos, de utilizar diferentes métodos de compactación ha requerido que se inicien estudios prenormativos.

Con anterioridad, se habían efectuado algunos trabajos con el equipo vibratorio, obteniendo resultados poco fiables por alcanzar niveles de huecos excesivamente reducidos, por lo que todo el trabajo se ha centrado en el compactador giratorio.

Ya han sido estudiadas, y presentadas en jornadas anteriores, los resultados para la determinación de las energías equivalentes impacto-giratoria a las mezclas tipo AC, SMA y BBTM. En este trabajo se recogen los resultados obtenidos en el estudio de

una mezcla porosa tipo PA, completándose así el objetivo inicial del trabajo. En el trabajo han participado 14 Laboratorios, todos ellos pertenecientes a la Agrupación de Laboratorios de Asefma, ALEAS.

2. OBJETIVO

El objetivo de esta fase del estudio es la determinación de la energía equivalente entre los sistemas de compactación de impacto y giratorio para las mezclas porosas tipo PA.

Para las mezclas porosas, la normativa nacional (PG3, Artículo 543) señala que las probetas deben fabricarse con el equipo de impacto aplicando 50 golpes por cada cara de la probeta, debiendo determinar la energía equivalente con el compactador giratorio en moldes de 100 milímetros de diámetro. Adicionalmente para todas las probetas se han realizado ensayos de resistencia a tracción indirecta, con la finalidad de evaluar también la influencia de la compactación en las propiedades.

Con objeto de corroborar los resultados que se vienen obteniendo en este trabajo, se realizan comprobaciones con mezcla fabricada a escala industrial en diferentes laboratorios y plantas de fabricación de mezclas bituminosas con distinta ubicación en el territorio nacional y con materiales de diferente naturaleza y tipo.

3. METODOLOGIA DEL TRABAJO

Se ha seguido la misma metodología que en los trabajos anteriores para otros tipos de mezclas: compactación por impacto con 50 golpes y giratorio con 210 giros, definición de distintos rangos de compactación con giratoria y fabricación de probetas para determinar su densidad y propiedades.

Las diferentes partes del estudio son las siguientes:

- I. Definición y selección de mezcla objeto de estudio.
- II. Definición de un protocolo de trabajo. Establecimiento de las pautas a seguir por todos los laboratorios participantes.

III. Trabajos de laboratorio. Ejecución de los ensayos atendiendo a las condiciones establecidas en las fases anteriores.

IV. Análisis y estudio de resultados.

3.1. DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE LA MEZCLA

La muestra seleccionada corresponde al huso PA16 de la Norma UNE-EN 13108-7, la cual fue tomada en las instalaciones de Asfaltos Vicalvaro en Seseña y dividida en porciones iguales para su reparto a los distintos laboratorios. La composición y características son las siguientes:

Tabla 1: Composición y características de la mezcla PA16.

Mezcla	PA16 45/80-65
Naturaleza del árido grueso	Milonita
Tipo de betún	PMB45/80-65
Ligante en mezcla, %	4,17
Relación f/b	1,15

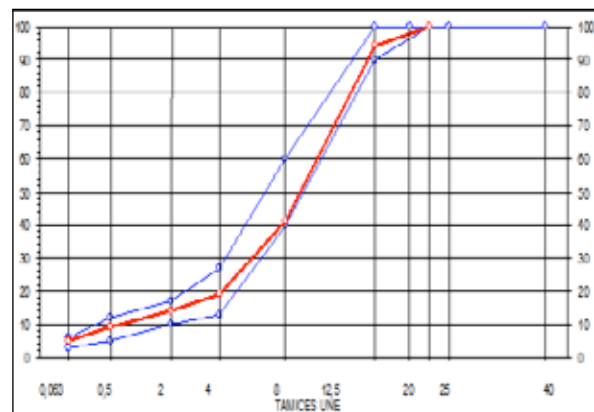


Gráfico 1: Curva granulométrica de la mezcla PA16 estudiada.

La mezcla PA16 se ajusta a los requisitos señalados en el Artículo 543 del Pliego General de Condiciones PG-3 y la normativa europea UNE-EN 13108-7.

3.2. DEFINICIÓN DE UN PROTOCOLO DE TRABAJO

Previamente a la realización de los ensayos en el laboratorio se confeccionó un protocolo de trabajos para todos los laboratorios, con el objetivo de mejorar los niveles de reproducibilidad de los

ensayos, indicando las condiciones de acondicionamiento de la mezcla, compactación, ensayo de las probetas y registro de los resultados, con el siguiente contenido:

- Toma de muestras, identificación y caracterización (composición). Reparto de muestras.
- Definición de la masa de muestra a utilizar en la preparación de probetas compactadas tanto por impacto como por giratoria.
- Definición de las operaciones de fabricación de las probetas en cuanto a tiempos y temperaturas de trabajo.
- Acondicionamiento de las muestras.
- Preparación de probetas aplicando 50 golpes por impacto, determinado las densidades únicamente por el método geométrico.
- Preparación de probetas por compactación giratoria aplicando diferentes números de giros: barrido inicial de densidades para una energía de 210 giros y posterior fabricación de series de probetas de comprobación a diferente número de giros: 100-120-160, en moldes con diámetro de 100 milímetros.
- Determinación de la resistencia a tracción indirecta a 15°C en seco de cada una de las probetas, para comprobar los resultados que se obtienen con ambos sistemas de compactación.

3.3. TRABAJOS DE LABORATORIO

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

Se fabrican probetas con el método de compactación por impacto aplicando una energía de 50 golpes por cada cara, determinando la densidad por el procedimiento geométrico.

El promedio de los resultados de las densidades (kg/m³) obtenidas en los ensayos son los siguientes:

Tabla 2: Resultados densidades con el compactador de impacto 50 golpes/cara. (*) Valores anómalos (Mandel. ver apartado 3.5).

TIPO	MEZCLA PA16
LABORATORIO	DENS. GEOMÉTRICA
1	2075
2	2086
3	2106
4	2105
5	2134
6	2058 (*)
7	2025
8	2108
9	1997 (*)
10	2069
11	2062
12	2110
13	No aporta
14	2107
Promedio	2078
Desviación estándar	38,71

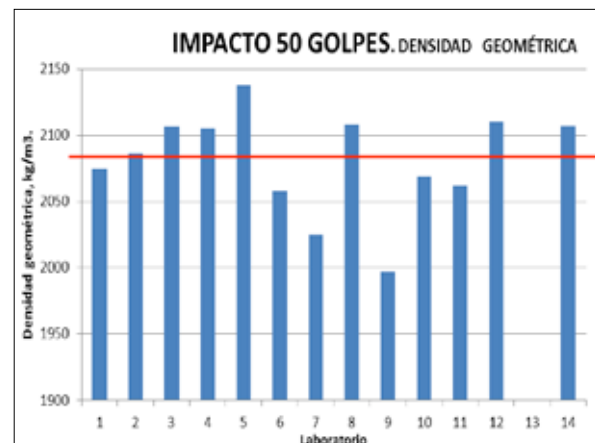


Gráfico 2: Densidad geométrica de probetas fabricadas con impacto con 50 golpes/cara.

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

En una primera fase del trabajo se fabrican probetas con 210 giros para obtener las curvas de densidad en todos los laboratorios participantes y establecer los niveles adecuados para alcanzar la energía de referencia obtenida con las probetas fabricadas con impacto.

Los resultados obtenidos en la fabricación de las probetas se muestran a continuación:

Tabla 3: Densidades de la mezcla PA16 con el compactador giratorio a 210 giros.

LABORATORIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
GIROS	DENSIDAD GEOMÉTRICA, kg/m³							DENSIDAD GEOMÉTRICA, kg/m³						
5	1839	1826	1796	1830	1847	1846	1813	1780	1811	1822		1816		1808
10	1898	1877	1855	1887	1910	1898	1874	1839	1860	1868		1869		1875
20	1957	1935	1919	1949	1965	1949	1939	1900	1915	1918		1922		1943
30	1991	1970	1957	1983	1996	1981	1974	1936	1948	1949		1955		1976
40	2017	1990	1982	2007	2017	2001	2008	1961	1972	1972		1978		2010
50	2036	2008	2002	2025	2032	2017	2030	1980	1990	1990		1995		2029
60	2052	2023	2017	2040	2042	2026	2044	1996	2005	2004		2009		2042
70	2064	2033	2029	2052	2053	2038	2058	2009	2016	2016		2021		2055
80	2073	2042	2041	2062	2062	2045	2072	2019	2026	2025		2030		2067
90	2082	2051	2050	2071	2068	2054	2082	2029	2035	2033		2039		2075
100	2089	2059	2058	2079	2074	2057	2092	2037	2043	2040		2045		2084
110	2095	2068	2064	2085	2079	2064	2099	2044	2049	2047		2051		2088
120	2101	2072	2070	2091	2087	2067	2105	2051	2056	2053		2057		2094
130	2106	2076	2076	2096	2089	2070	2112	2058	2061	2059		2062		2099
140	2110	2080	2080	2101	2094	2073	2119	2062	2066	2063		2066		2104
150	2115	2083	2085	2105	2097	2077	2125	2067	2070	2067		2070		2109
160	2119	2088	2089	2109	2100	2080	2132	2071	2074	2071		2074		2114
170	2122	2090	2093	2112	2104	2083	2136	2075	2078	2075		2078		2117
180	2125	2092	2096	2115	2106	2083	2141	2078	2082	2078		2080		2120
190	2128	2095	2100	2118	2110	2086	2145	2081	2085	2080		2083		2123
200	2131	2098	2103	2121	2111	2090	2150	2084	2089	2083		2085		2127
210	2134	2100	2106	2123	2114	2090	2153	2086	2091	2086		2087		2130
D. GEOMETRICA	2123	2099	2102	2124	2119	2022	2131	2079	2076	2086		2112		2106

NOTA: El Laboratorio 6 presenta valores aberrantes por lo que es eliminado en el cálculo del promedio y el análisis posterior de resultados. Los laboratorios 11 y 13 no presentan resultados.

Los datos de la tabla corresponden a los valores que se obtienen en el equipo. En la línea de la D. GEOMÉTRICA se indican los resultados que se obtienen al medir las probetas frías.

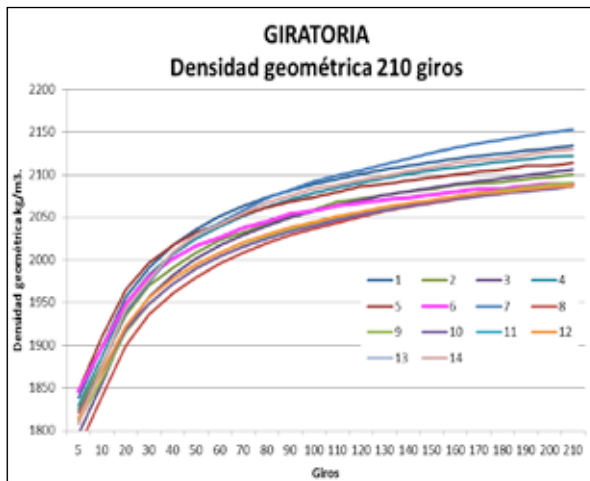


Gráfico 3: curvas de compactación con giratoria a 210 giros, densidad geométrica en kg/m³.

A continuación se muestra una tabla comparativa con los valores obtenidos en las densidades por impacto con 50 golpes por cada cara y los obtenidos con la giratoria para 210 giros.

Tabla 4: Resultados mezcla PA16 impacto (50 golpes/cara) y giratoria (210 giros).

Compactador	Método medida	Promedio	Max.	Min.	Desviación Estándar
Impacto	Geométrico	2078	2138	1997	30,71
Giratoria	Geométrico	2105	2131	2076	18,81

A partir de estos resultados se establecen los rangos de niveles de energía teóricos con la compactadora giratoria: 100, 120 y 160 giros, necesarios para alcanzar la densidad equivalente al sistema de impacto.

Se fabrican nuevas series de probetas para confirmar los giros necesarios en cada caso, dentro del rango establecido anteriormente y teniendo en cuenta los resultados obtenidos así como las categorías definidas en la norma UNE-EN 13108-20. Los resultados obtenidos, para el promedio de la densidad geométrica, en kg/m³ se muestran a continuación en la tabla 5.

A partir de los resultados obtenidos la energía equivalente entre el compactador de impacto para 50 golpes/cara y el compactador giratorio se observa en la tabla 6.

Tabla 5: Promedio de la densidad geométrica. Valores anómalos y valores aberrantes.

Laboratorio	100 giros	120 giros	160 giros
1	2061	2059	2084
2	1996	2041	2058
3	2024	2035	2063
4	2048	2065	2084
5	2045	2054	2078
6	2054	2084	2088
7	2042	2084	2118
8	2019	2023	2041
9	1947	1997	1961
10	1991	2042	2046
11	No presenta resultados		
12	2040	2066	2072
13	2009	2079	2017
14	2059	2067	2077
Promedio	2032	2056	2069
Desviación estándar	24,1	19,6	26,2

Tabla 6: Energías equivalentes impacto vs giratoria para la mezcla PA16.

	PA16
Energía impacto	50 golpes/cara
Energía giratoria	180 giros

3.3.3. 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) a una temperatura de 15 °C y efectuados sobre probetas con el método

Tabla 7: Resultados tracción indirecta impacto y giratoria. Valores anómalos y valores aberrantes.

Laboratorio	Impacto		Giratoria		
	50 golpes	210 giros	100 giros	120 giros	160 giros
1	1,54	1,64	1,40	1,44	1,67
2	1,52	1,51	1,22	1,29	1,38
3	1,60	1,76	1,07	1,16	1,27
4	1,63	1,69	1,53	1,66	1,69
5	2,01	1,55	1,41	1,56	1,57
6	1,68	1,4	1,28	1,47	1,57
7	1,59	1,69	1,30	1,42	1,64
8	1,91	1,67	1,26	1,30	1,45
9	1,53	1,62	0,95	1,27	0,83
10	1,4	1,84	1,35	1,53	1,55
11	1,721	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
12	1,99	1,87	1,8	1,76	1,72
13	Sin datos	Sin datos	1,17	1,35	1,3
14	1,62	1,73	1,52	1,56	1,66
Promedio	1,68	1,67	1,33	1,46	1,54
Desv. estandar	0,19	0,14	0,22	0,17	0,15

de impacto con 50 golpes y las probetas fabricadas con la máquina giratoria, con distintos niveles de energía, son los que se muestran en la anterior tabla 7 de resultados.



Gráfico 4. Tracción indirecta PA16 impacto vs giratoria.

3.4. ANÁLISIS Y ESTUDIO DE RESULTADOS

3.4.1. ESTUDIO DE LA COMPACTIBILIDAD

Como ya se hiciera en estudios previos se procedió al estudio de la compactibilidad en la mezcla PA16 según apartado 7.2 de la Norma UNE-EN 12697-10. Se calcularon los parámetros de la ecuación descrita en la norma para un número de giros igual o superior a 20 para los datos de compacta-

Tabla 8: Compactibilidad mezcla PA16.

Laboratorio	PA16	
	k	v(1)
1	3.13	32.9
2	2.94	32.8
3	3.29	34.6
4	3.12	32.8
5	2.74	31.0
6	2.57	33.8
7	3.62	35.5
8	3.28	35.4
9	3.00	34.3
10	2.85	33.1
11		
12	2.90	32.2
13		
14	3.37	34.8
Promedio	3.07	33.6

ción que aparecen en el apartado 3.3.2. Posteriormente se realizó la corrección de las curvas obtenidas directamente de los equipos atendiendo a la medida final de altura tomada por el laboratorio. En la tabla 8 de la página anterior, se muestran los resultados obtenidos.

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

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

donde:

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

Los valores obtenidos fueron:

Tabla 9: Giros teóricos mezcla PA16.

Golpes	PA16 (Giros teóricos)
50	143

3.5. ANALISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

El análisis estadístico de resultados se realizó según las normas UNE 82009-2 y UNE 82009-6 (equivalentes a ISO 5725-2 e ISO 5725-6 respectivamente), referentes al método básico para la determinación de la repetibilidad (resultados de ensayos independientes realizados con el mismo método de ensayo, sobre muestras idénticas en el mismo laboratorio, por el mismo operario utilizando el mismo equipo en un corto periodo de tiempo) y reproducibilidad (resultados de ensayos independientes realizados con el mismo método de ensayo, sobre muestras idénticas en laboratorios diferentes, operarios distintos utilizando un equipo diferente) de un método de medición normalizado. Este análisis de los resultados se inicia con un estudio estadístico de los datos aportados por

todos los participantes, para determinar si existen valores aberrantes y, en su caso, eliminarlos.

Se aplican los siguientes métodos:

- Técnica gráfica de consistencia. Se utilizan los estadísticos h y k de Mandel, para cada laboratorio. El estadístico h es una medida de consistencia inter-laboratorios (reproducibilidad), mientras que k mide la consistencia intra-laboratorios (repetibilidad)
- Ensayos de detección de resultados numéricos aberrantes:
 - Ensayo de Cochran. Permite detectar laboratorios que presentan resultados con excesiva variabilidad con respecto del conjunto.
 - Ensayo de Grubbs (simple y doble). Permite detectar laboratorios que presentan resultados que difieren excesivamente de la media.

El criterio para tratar los resultados de los tests es el siguiente:

- Si el estadístico del ensayo es menor o igual al 5 % de su valor crítico (o mayor o igual en el caso de Grubbs doble), el valor verificado es aceptado como correcto.
- Si el estadístico del ensayo es mayor o igual al 5 % de su valor crítico (o menor o igual en el caso de Grubbs doble), y menor o igual al 1 % de su valor crítico (o mayor o igual en el caso de Grubbs doble), el valor verificado es considerado anómalo, pero no se elimina para la estimación de la media general y las varianzas.
- Si el estadístico del ensayo es mayor o igual al 1 % de su valor crítico (o menor o igual en el caso de Grubbs doble), el valor verificado es considerado estadísticamente incompatible, y se elimina para la estimación de la media general y las varianzas.

Con los valores considerados aceptables se calculan el valor medio, la varianza de repetibilidad intra-laboratorio, la varianza de reproducibilidad inter-laboratorios y la reproducibilidad total asociada al

método. Los cálculos utilizados son los descritos en la UNE-EN 82009-2. Los valores de repetibilidad y reproducibilidad se han calculado a partir de las desviaciones estándar correspondientes mediante las ecuaciones siguientes:

$$r = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot s_r$$

$$R = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot s_R$$

El estudio estadístico se ha llevado a cabo sobre los siguientes ensayos:

Densidad geométrica y resistencia a tracción indirecta en seco obtenidas por compactación por impacto y por compactación mediante giratoria para las distintas energía de compactación.

De la aplicación de los distintos test, se extraen los resultados que se resumen en la tabla 10.

En la tabla 11 se presentan los valores de la desviación estándar de repetibilidad y reproducibilidad para la densidad geométrica y resistencia a tracción indirecta para las energías de referencia (próxima a la de referencia en giros) por ambos sistemas de compactación.

Cuadro resumen de resultados de la desviación estándar de repetibilidad y reproducibilidad de las densidades geométricas para los diferentes tipos de mezclas reflejados en la tabla 12.

Tabla 11: Resultados de la desviación estándar de repetibilidad y reproducibilidad del PA16.

	Sr	SR
Densidad geométrica (50x)	19,2	42,4
Densidad geométrica (160 giros)	14,3	40,3
ITS (50x)	0,11	0,20
ITS (160giros)	0.10	0.26

Tabla 12: Resultados de la desviación estándar de repetibilidad y reproducibilidad de todas las mezclas estudiadas.

TIPO MEZCLA	AC16S		SMA11		BBTM11B		PA16	
	Sr	SR	Sr	SR	Sr	SR	Sr	SR
Impacto 75 golpes	9.9	32						
Giratoria 100 giros	12.5	26.1						
Impacto 50 golpes			17.8	47.1				
Giratoria 100 giros			17.7	26.2				
Impacto 50 golpes					15	77	19.2	42.4
Giratoria 160 giros					30	59	14.3	40.3

Los resultados arrojan como conclusiones:

En cuanto a la metodología de compactación en condiciones de reproducibilidad se observa que la compactación giratoria ofrece una menor dispersión (menores valores de SR) sin embargo no se puede decir lo mismo en cuanto a la repetibilidad intralaboratorios.

Si comparamos distintos tipos de mezclas se observa que las mezclas BBTM 11B dan lugar a mezclas

Tabla 10: Resultados de los distintos test aplicados en el estudio estadístico para las dos características analizadas y para las distintas energías de compactación.

CARACTERÍSTICA	h Y k de Mandel				Cochran			Grubbs (simple y doble) inter-laboratorio		
	ANOMALO		INCOMPATIBLE		ANOMALO	INCOMPATIBLE	σ max (intra-laboratorio)	ANOMALO	INCOMPATIBLE	σ max (inter-laboratorio)
	h	k	h	k						
D. geom. (50 golpes)	L9	L6	-	-	-	-	L6	-	-	L5
D. geom. (210 giros)	-	-	L6	-	-	-	L3	-	-	L7
D. geom. (160 giros)	-	L12, L1	L9	-	-	-	L12	L9, L13	-	L9
D. geom. (120 giros)	L9	-	-	L9, L13	L13	-	L13	-	-	L9
D. geom. (100 giros)	-	L13	L9	-	-	-	L13	-	-	L9
ITS (50 golpes)	L12	L5	-	-	-	-	L5	-	-	L12
ITS (210 giros)	-	-	-	L9	-	L9	L9	-	-	L12
ITS (160 giros)	-	L12	L9	-	-	-	L12	-	-	L9
ITS (120 giros)	-	-	-	L9	-	L9	L9	-	-	L12
ITS (100 giros)	L12	L8, L9	-	-	-	-	L8	-	-	L12

con peor repetibilidad (giratoria) y reproducibilidad (por ambas compactaciones).

3.6. COMPROBACIÓN DE RESULTADOS EN CONTROL DE PRODUCCIÓN EN DIFERENTES INSTALACIONES DE FABRICACIÓN

Los valores de energía que han sido recomendados en este trabajo y en los anteriores, se deben verificar mediante la realización de ensayos en paralelo con los compactadores de impacto y giratorio, durante el control de producción con mezclas fabricadas a escala industrial.

En las mezclas AC la compactación con impacto se realiza aplicando 75 golpes por cada cara, mientras que para las discontinuas se aplica una energía de 50 golpes.

En las probetas fabricadas con el compactador giratorio, para las mezclas AC16 y discontinuas se utiliza el molde de 100 milímetros de diámetro y se aplican 100 giros en AC y BBTMB y 160 giros para las mezclas BBTMA y SMA. En el caso de las mezclas AC22 y AC32 se utiliza el molde de 150 milímetros aplicando una energía de 160 giros.

Hasta el momento se han recogido 109 resultados de ensayos realizados por distintos fabricantes de mezclas bituminosas, cuyos resultados se expresan gráficamente en porcentaje de compactación obtenido con el compactador giratorio



Gráfico 5. Diferencias densidad impacto-giratoria en CPF.

respecto al valor alcanzado con el compactador de impacto, en todos los casos la densidad ssd excepto para las mezclas BBTMB que se emplea el cálculo geométrico. Son los reflejados en el gráfico anterior.

El 97 % de los resultados de los ensayos realizados se encuentra en los porcentajes entre el 97 y 103 % de compactación.

4. CONCLUSIONES

Esta comunicación corresponde a la cuarta fase de estudios realizados entre dos métodos de compactación de probetas con mezcla bituminosa: impacto y giratoria. Han participado las siguientes empresas: ACCIONA, AEFMA, CIESM-INTEVIA, CAMPEZO, DITECPESA, EIFFAGE (Laboratorios de Madrid y Sevilla), ELSAN, INTROMAC, LOS SERRANO, MECACISA, PAVASAL, PROAS, REPSOL, SACYR, SORIGUE y ASFALTOS VICALVARO.

Las conclusiones obtenidas por los participantes en este trabajo son las siguientes:

- Como en las anteriores fases, el principal objetivo del trabajo es determinar la energía equivalente con la máquina giratoria para alcanzar la densidad que se obtiene con el equipo de impacto con 50 golpes, en este trabajo, para las mezclas tipo PA. En este cuadro se muestran los resultados para los distintos tipos de mezclas estudiadas en las cuatro fases del trabajo:

Tabla 13: Cuadro resumen de las energías recomendadas para todos las mezclas estudiadas.

MEZCLA/ENERGIA	Giros equivalentes a 75 golpes	Giros equivalentes a 50 golpes
AC32	160	80
AC22	160	100
AC16	100	80
BBTM11B	--	100
SMA11	--	160
PA16	---	180

NOTA: En las mezclas tipo AC16, BBTM11, SMA11 y PA16 se ha empleado un molde de 100 milímetros de diámetro mientras que para las mezclas tipo AC22 y AC32 se ha utilizado un molde de 150 milímetros de diámetro.

En todos los casos se han tenido en cuenta los niveles permitidos en la tabla C.1 de la Norma UNE-EN 13108-20.

- En la mezcla porosa, al igual que el resto de mezclas estudiadas con anterioridad, los resultados de desviaciones estándar son mejores para la compactación con la máquina giratoria. Es necesario continuar realizando el trabajo de control de producción en planta con este tipo de mezclas para analizar un mayor número de resultados, y verificar la propuesta de giros necesarios.
- Los resultados obtenidos en los ensayos de tracción indirecta para ambos tipos de mezclas no aportan una información clara sobre su tendencia entre ambos sistemas de compactación.
- El objetivo inicial del trabajo en la determinación de las energías equivalentes con los sistemas de compactación por impacto y giratoria se ha finalizado.
- El estudio sobre la compactación giratoria continúa dentro de un Grupo de trabajo coordinado en ALEAS. Para el año 2014 está previsto continuar realizando ensayos con ambos sistemas en paralelo para verificar los grados de energía obtenidos en el trabajo. Otra línea de trabajo es el estudio de las propiedades de probetas de mezclas bituminosas fabricadas con ambos sistemas de compactación.