



EJERCICIO INTERCOMPARACIÓN DE MEZCLAS SEMICALIENTES CON ESPUMACIÓN DIRECTA Y ADITIVOS REALIZADOS EN EL GRUPO DE TRABAJO DE BAJA TEMPERATURA DE ALEAS.

Marisol Barral¹, Carlos Royo², Carmen Calvo³, Esther Tomás⁴, Isaías García⁵, Pedro Francisco Hernández⁶, José Manuel Berenguer⁷, Mar Subarroca⁸, María Nieves Sánchez⁹, Blanca Narbona¹⁰, Nieves Cruz¹¹, Rafael Jiménez¹², Roberto Orozco¹³, Aida Marza¹⁴, Pablo Alvarez¹⁵

¹ Grupo Campezo, San Sebastián, España, mbarral@campezo.com

² Mecánica científica, Madrid, España, croyo@meccanicacientifica.es

³ Junta de Castilla León, Valladolid, España, calrevca@jcyl.es

⁴ Ciesm-Intevia, Madrid, España, Esther.tomas@ciesm-intevia.es

⁵ Comunidad de Murcia, Murcia, España, isaias.garcia@carm.es

⁶ MITMA, Murcia, España, pfernandez@mitma.es

⁷ Eiffage infraestructuras, Madrid, España, jberenguer@infraestructuras.eiffage.es

⁸ Sorigue, Lleida, España, mar.subarroca@sorigue.com

⁹ Cedex, Madrid, España, maria.sanchez@cedex.es

¹⁰ DFA, Vitoria, España, bnarbona@araba.eus

¹¹ Padecasa, Ávila, España, nievescruz@padecasa.com

¹² Cedex, Madrid, España, rjimenez@cedex.es

¹³ Tecnofirmes, Barcelona, España, rorozco@tecnofirmes.es

¹⁴ Becsa, Castellón, España, amarza@becsa.es

¹⁵ Becsa, Castellón, España, p Alvarez@becsa.es

Resumen

En el grupo de trabajo de mezclas bituminosas de baja temperatura de la agrupación de laboratorios de entidades asociadas a Asefma (ALEAS), se está trabajando en la elaboración de una metodología de trabajo para el diseño de mezclas bituminosas semicalientes. Para ello, se ha comenzado realizando un ejercicio de intercomparación formado por 11 laboratorios de empresas fabricantes de mezclas bituminosas, laboratorios externos de control de calidad, empresas fabricantes de equipos de laboratorio y laboratorios de control de calidad de la administración.

En este ejercicio de intercomparación, se han tomado un total de 4 mezclas bituminosas de tipo AC22S, donde una se ha fabricado en caliente (160°C) y las otras tres se han fabricado a 130°C. De las tres mezclas semicalientes: una se ha fabricado con betún aditivado y las otras dos con espumación directa del betún. De estas dos últimas, una se ha compactado a la misma temperatura de fabricación (130°C) y la otra a 150°C. Con el fin de minimizar las posibles dispersiones entre laboratorios, se redactó un protocolo de trabajo para que todos los laboratorios realizaran la misma metodología de preparación de las muestras y posterior ejecución de los ensayos.

Se llevaron a cabo todos los ensayos de control que se disponen en la normativa española vigente, y además el ensayo Fénix a -5, 5 y 20°C y el ensayo SCB en las mismas condiciones que el ensayo Fénix en cuanto a velocidad de aplicación de carga y dimensiones de la entalla. Además, se elaboraron las probetas mediante dos sistemas de compactación, por impacto y por giratoria.

En esta comunicación, se van a presentar todos los resultados obtenidos de las cuatro mezclas estudiadas, así como los resultados del estudio estadístico.

Palabras Clave: mezclas bituminosas calientes, mezclas bituminosas semicalientes, aditivos, intercomparación.

1 Introducción

El trabajo que se presenta en esta comunicación se ha desarrollado dentro del grupo de trabajo de mezclas a baja temperatura de Aleas. ALEAS es la agrupación de laboratorios de las entidades asociadas a ASEFMA, actualmente constituida por 36 entidades cuyo objetivo es desarrollar criterios, metodologías y protocolos comunes consensuados que contribuyan a minimizar las dispersiones de los ensayos y clarificar cualquiera duda técnica relacionadas con los ensayos de control y caracterización de las mezclas bituminosas. Además, ALEAS pone a libre disposición de los laboratorios las diferentes publicaciones desarrolladas dentro de los distintos grupos de trabajo y se pueden consultar en la siguiente dirección: <https://asefma.es/aleas/>

El objetivo que tiene el grupo de trabajo de mezclas a baja temperatura de ALEAS, es estudiar qué ensayos son los más adecuados para el control de estas mezclas de baja temperatura y elaborar documentos, bien sea protocolos o metodologías de trabajo, que permitan clarificar cualquier duda en relación, no solo al control de calidad, sino también en el diseño o la obtención de las fórmulas de trabajo.

En esta comunicación se van a presentar los resultados obtenidos en un ejercicio de intercomparación realizado por un total de 11 laboratorios pertenecientes al GT citado, con el objetivo final de analizar los resultados obtenidos para las distintas mezclas estudiadas y las dispersiones encontradas en los diferentes ensayos realizados con dos sistemas de compactación: impacto y giratoria.

2 Parte experimental

Las mezclas ensayadas se fabricaron en la planta asfáltica de la empresa Eiffage Infraestructura ubicada en EL PUIG (Valencia). La mezcla bituminosa fue del tipo hormigón bituminoso AC22 bin 35/50 S calizo. La mezcla se fabricó en caliente a la temperatura de 160°C y en semicaliente a 130°C. En el caso de la mezcla semicaliente se utilizaron dos tecnologías diferentes, en una se utilizó un aditivo que modifica la reología del ligante en un porcentaje del 0,5% sobre el contenido de ligante en la mezcla y, por otro lado, una mezcla espumada con un porcentaje de agua del 1,5% sobre el contenido de ligante.

La toma de muestra se llevó a cabo el día 22/03/23. Para ello, se fabricaron 4 amasadas de 2000 kg cada una, una amasada por tipo de mezcla. Se muestreó el material para recogerlo y distribuirlo en cajas de aproximadamente 20 kg. Se entregaron en los diferentes laboratorios 6 cajas de cada tipo de mezcla para realizar los ensayos definidos en el estudio.

Previamente, se elaboró un protocolo de trabajo, donde se definieron los ensayos a realizar y el acondicionamiento de las muestras en cuanto a su recalentamiento para que todos los laboratorios realizaran el mismo tratamiento y así minimizar las dispersiones entre laboratorios. La mezcla caliente se definió compactarla a 160°C, la semicaliente aditivada a 130°C, y la espumada se dividió en dos muestras y se compactaron una a 130°C y otra a 150°C. Se utilizaron dos sistemas de compactación: el de impacto (UNE EN 12697-30) y el de la compactadora giratoria (UNE EN 12697-31).

Se llevó a cabo un ensayo composicional de la mezcla que se fabricó, cuya curva granulométrica se presenta en la Figura 1 y el contenido de ligante fue de un 4,0 % sobre mezcla.

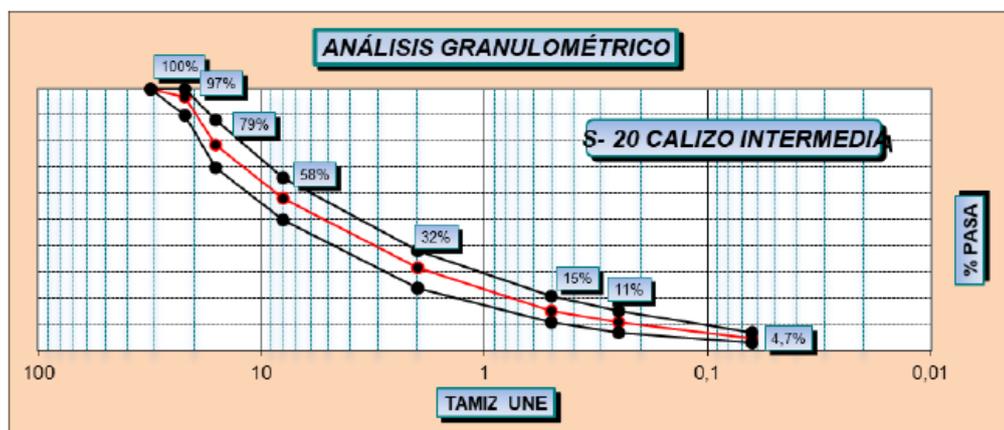


Figura 1. Curva granulométrica de la mezcla AC22 bin 35/50 S caliza

También se determinó la densidad máxima (UNE EN 12697-5) de la mezcla siendo ésta la indicada en la Tabla 1:

Tabla 1. Densidad máxima promedio de las mezclas estudiadas

	Caliente compactada a 160°C	Semicaliente aditivada compactada a 130°C	Semicaliente espumada compactada a 130°C	Semicaliente espumada compactada a 150°C
D. máx Mg/m ³	2,561	2,544	2,552	2,553

En cuanto a los ensayos realizados, estos fueron los siguientes: densidades aparentes por superficie saturada seca y por dimensiones (UNE EN 12697-6), contenido de huecos (UNE EN 12697-8), sensibilidad al agua (UNE EN 12697-12), ensayo de deformación en pista, dispositivo B en aire (UNE EN 12697-22) donde las probetas fueron compactadas con el compactador de rodillo de segmentos (UNE EN 12697-33) con la densidad de referencia de impacto mediante 75 golpes/cara, ensayo Fénix a tres temperaturas -5°C, 5°C y 20°C (NLT-383), módulo de rigidez a 20°C y a los 15 días de la fabricación de las probetas (UNE EN 12697-26, Anexo C), ensayo de resistencia a rotura por fisuración mediante probeta semicircular, SCB (UNE EN 12697-44) modificando la velocidad y el ancho de la entalla para utilizar la definida en el ensayo Fénix, y empleando la entalla de 10 mm de profundidad de la norma UNE y a temperatura de 5 y 20 °C. Este ensayo sólo se llevó a cabo con probetas de Ø150 mm compactadas por giratoria y solo por 3 laboratorios que disponían del equipo de ensayo.

En cuanto a la **compactación por impacto**, se fabricaron probetas con 75 y 50 golpes por cara. En todas ellas se determinó la densidad aparente superficie saturada seca y por dimensiones, así como el contenido de huecos. Para realizar el ensayo de sensibilidad al agua se utilizaron las probetas compactadas a 50 golpes por cara y para realizar el ensayo Fénix y módulo de rigidez se utilizaron las probetas compactadas a 75 golpes por cara.

En cuanto a la **compactación por giratoria**, se procedió a compactar las probetas fijando la densidad deseada, que fue la obtenida para cada mezcla por compactación por impacto a 75 golpes y a 50 golpes por cara. Cada laboratorio utilizó los giros necesarios para conseguir la densidad de referencia deseada. Con estas probetas se realizaron los siguientes ensayos: densidad aparente superficie saturada seca y por dimensiones, así como el contenido de huecos, sensibilidad al agua, ensayo Fénix, módulo de rigidez y SCB. Para realizar el ensayo de sensibilidad al agua se utilizaron las probetas compactadas a la misma densidad de referencia de 50 golpes por cara y para realizar el ensayo Fénix, módulo de rigidez y SCB se utilizaron las probetas compactadas por giratoria a la densidad de referencia de 75 golpes por cara. En el caso de las probetas compactadas con el rodillo de segmentos, la densidad de referencia que se tomó fue la de impacto a 75 golpes por cara.

Una vez realizado todos los ensayos citados y recopilado toda la información de cada laboratorio para las 4 mezclas, se procedió a realizar un estudio estadístico que consistió en detectar los resultados anómalos mediante la utilización de técnicas gráficas de consistencia: 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). Los valores calculados se comparan con los críticos para un nivel de significación del 1 y del 5 %. El criterio para tratar los resultados de los tests es el siguiente:

- Si el estadístico del ensayo es menor o igual al valor crítico para un nivel de significación del 5 % el valor verificado es aceptado como correcto.
- Si el estadístico del ensayo es mayor o igual al valor crítico para un nivel de significación del 5 %, y menor o igual al valor crítico para un nivel de significación del 1 %, el valor verificado es considerado anómalo.
- Si el estadístico del ensayo es mayor o igual al valor crítico para un nivel de significación del 1 %, el valor verificado es considerado estadísticamente incompatible, o aberrante.

Los valores críticos de cada estadístico se encuentran tabulados en la norma UNE 82009-2:1999.

Una vez eliminados los resultados anómalos e incompatibles o aberrantes, se procedió a determinar el valor asignado y la varianza de cada resultado de los diferentes ensayos realizados. Para ello se siguió el método B.1.6 de la norma UNE 82009-2:1999 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. Con los valores considerados aceptables se calcula la media general, m, y tres varianzas, siguiendo los cálculos descritos en el apartado 7.4 de la UNE 82009-2:1999:

- Varianza de repetibilidad, s_r^2
- Varianza interlaboratorios, s_L^2
- Varianza de reproducibilidad, s_R^2

A partir de estos valores se obtienen las correspondientes desviaciones de repetibilidad, s_r , desviación interlaboratorios, s_L , y desviación estándar de reproducibilidad, s_R , además de los coeficientes de variación de repetibilidad y reproducibilidad, CV_r y CV_R respectivamente.

3 Resultados y análisis

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de todos los ensayos realizados por cada sistema de compactación y para cada tipo de mezcla. En los gráficos se muestran los valores medios y las desviaciones estándares de reproducibilidad, después de realizar el estudio estadístico descrito en el apartado anterior y eliminados los valores anómalos y aberrantes. Se analizan los resultados por ensayo.

3.1 Número de giros empleados en la compactación.

Se ha analizado el parámetro del número de giros que ha necesitado cada uno de los laboratorios para obtener las densidades correspondientes a los 75 ó 50 golpes por impacto (Figura 2). Se ha comprobado que cada laboratorio ha necesitado un número muy diferente de giros, llegando a observarse diferencias superiores a 100 giros en las 4 muestras con la densidad de referencia de 75 golpes por cara. Estas diferencias parecen deberse a la utilización de diferentes equipos de compactación, o incluso a variaciones en la temperatura de alguno de los útiles que se emplean (molde, etc). Lo que parece claro es que, en estos casos, no se debe definir un número de giros determinado para conseguir una densidad, sino que cada uno de los laboratorios debe compactar la mezcla mediante los giros necesarios para llegar a dicha densidad.

Si se analizan los valores medios, en el caso de la compactación para llegar a una densidad equivalente a la que se obtiene con 75 golpes por cara mediante impacto, la mezcla que necesita más giros es la espumada a 150°C, seguida de la espumada a 130°C, la caliente, y finalmente la aditivada. En el caso de tener como referencia los 50 golpes por cara, el número de giros sigue el mismo orden, pero las diferencias entre mezclas son menores.

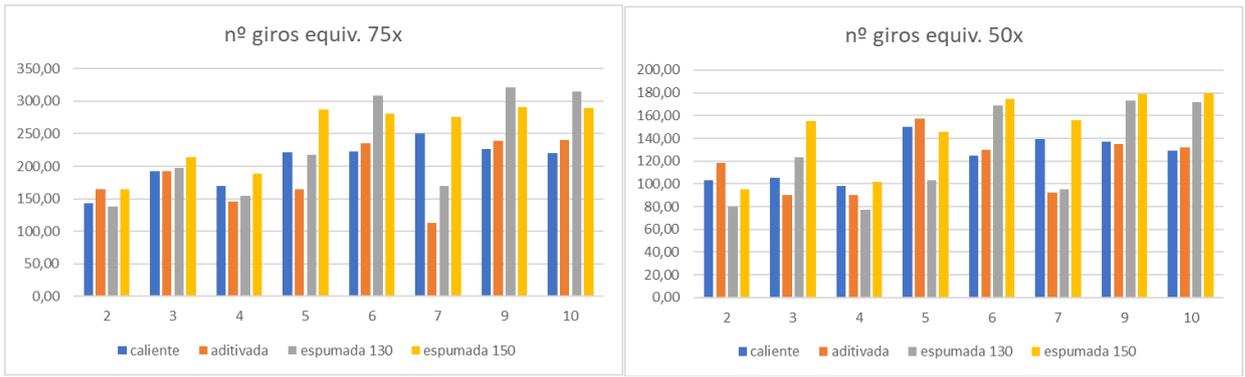


Figura 2. Números de giros promedio obtenido por cada laboratorio para conseguir la densidad geométrica de referencia compactada por impacto a 75 y a 50 golpes por cara.

3.2 Densidades y huecos.

En las figuras 3 y 4 se muestran los resultados obtenidos para la densidad superficie saturada seca y los huecos en mezcla en las diferentes mezclas, utilizando compactación por impacto y giratoria. Se representan las densidades y huecos para probetas ejecutadas con 75 golpes por cara y su equivalente en giros, y con 50 golpes por cara y su equivalente en giros.

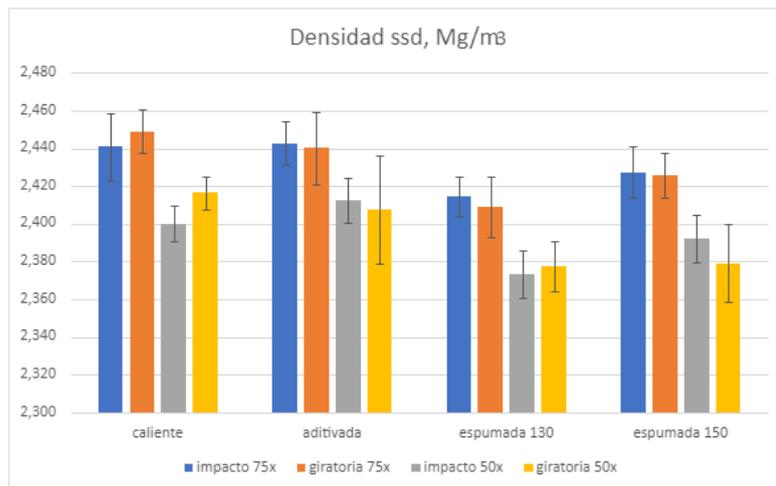


Figura 3. Resultados medios y desviaciones de reproducibilidad en la determinación de densidad aparente superficie saturada seca, con 75 y con 50 golpes por cara.

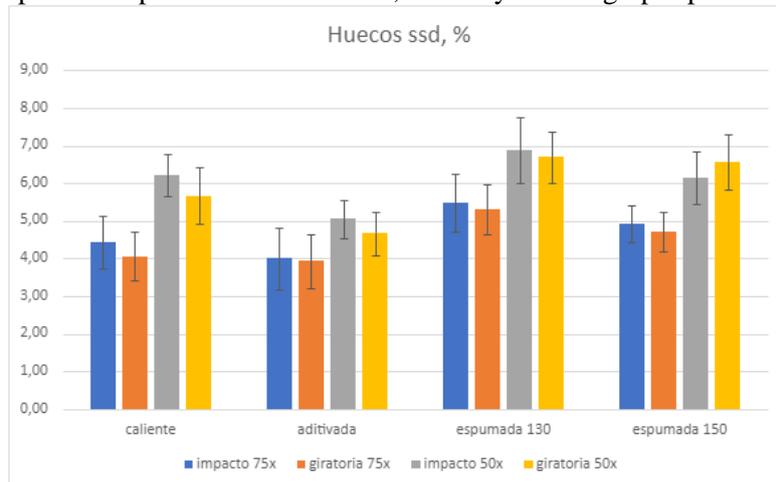


Figura 4. Resultados medios y desviaciones de reproducibilidad en la determinación de huecos a partir de la densidad aparente superficie saturada seca, con 75 y con 50 golpes por cara.

En general, no se observan diferencias significativas en los valores de densidad y huecos obtenidos en función del tipo de compactación, por impacto o giratoria, para cada tipo de mezcla. Las mezclas compactadas en caliente y las semicaliente aditivada presentan valores similares de densidad aparente y huecos, mientras que las muestras espumadas presentan valores de densidad algo más bajos y, por tanto, mayor porcentaje de huecos. La mezcla con la menor densidad sería la espumada compactada a 130°C, aunque como se ha indicado, son pequeñas las diferencias con el resto de las mezclas. Es importante señalar que la compactación se realizó días después de la fabricación de cada una de las mezclas, con lo cual el efecto del espumado podría haberse perdido en parte. Esto se traduciría en una menor compactación y densidad de las mezclas espumadas.

Las desviaciones estándar son del orden de las especificadas en las correspondientes normas de ensayo y los coeficientes de variación son del orden del 0.5% para la repetibilidad y del 1 % para la reproducibilidad en el caso de las densidades, y del 5 y el 15 % respectivamente para los huecos.

En el caso de la densidad aparente-geométrica (figura 5), no se observan diferencias entre la compactación por impacto y giratoria en la mezcla en caliente. Para el resto de las mezclas se alcanzan densidades aparentes geométricas menores cuando se utiliza la compactación giratoria. El contenido de huecos sigue el mismo comportamiento que las densidades, en sentido inverso. Los datos de precisión son del mismo orden de magnitud que los obtenidos en la densidad aparente superficie saturada seca.

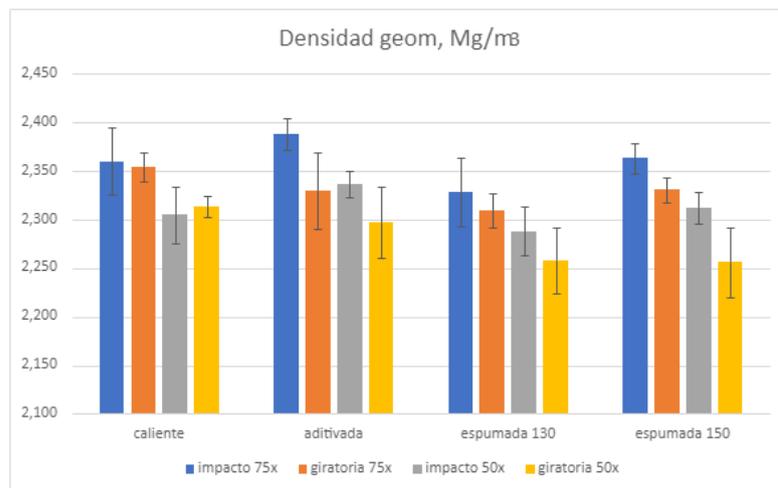


Figura 5. Resultados medios y desviaciones de reproducibilidad en la determinación de densidad aparente geométrica, con 75 y con 50 golpes por cara.

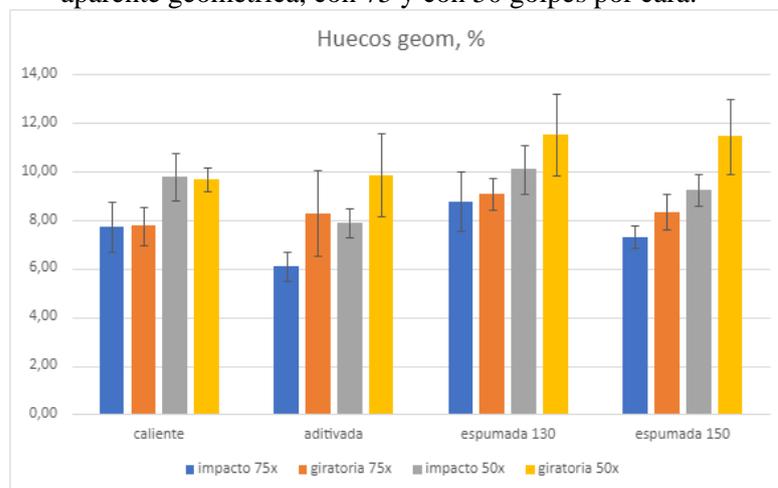


Figura 6. Resultados medios y desviaciones de reproducibilidad en la determinación de huecos a partir de la densidad aparente geométrica, con 75 y con 50 golpes por cara.

Se observa que para la densidad superficie saturada seca sí que se ha conseguido igual los resultados obtenidos con ambas compactaciones, no siendo así con la densidad geométrica.

3.3 Sensibilidad al agua

La figura 7 representa los valores de resistencia a tracción indirecta en las probetas curadas en seco y en húmedo en el ensayo de sensibilidad al agua.

No se observan diferencias significativas en los datos en función del tipo de compactación en los valores de ITS, tanto en las roturas de probetas húmedas como secas. Los valores de ITS son ligeramente más altos para la mezcla en caliente. Para las probetas secas, no se detectan diferencias significativas entre las mezclas aditivada y espumada, pero en húmedo, sí encontramos valores menores en la mezcla espumada cuando se compacta a 130°C.

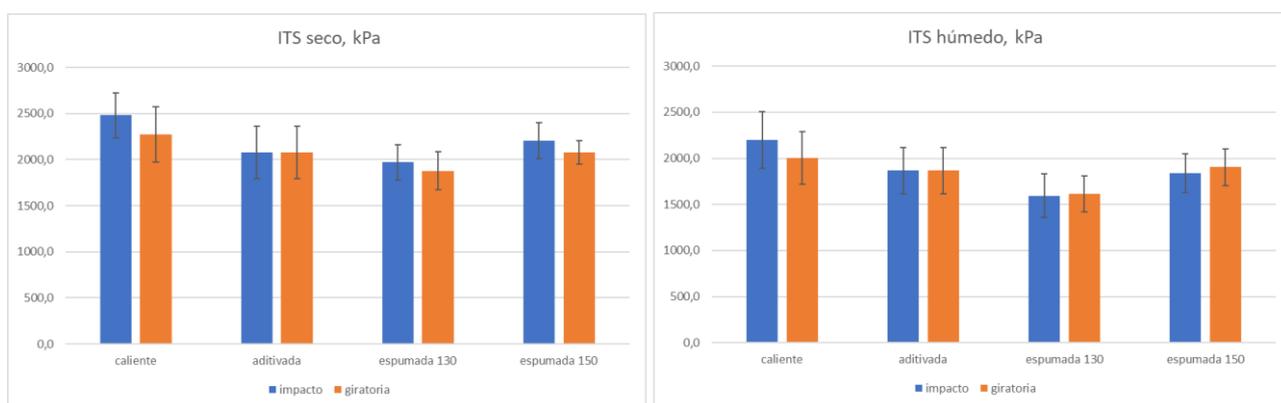


Figura 7. Resultados medios y desviaciones de reproducibilidad en la determinación de ITS

El coeficiente de variación de repetibilidad es del orden del 5% y el de reproducibilidad se encuentra en el rango 5-10%, con lo que la precisión alcanzada en este trabajo mejora la establecida en la norma de ensayo.

Como se aprecia en la Figura 8, los valores de ITSR son ligeramente menores en la mezcla espumada, independientemente de la temperatura de compactación, y no se encuentran diferencias entre la compactación por impacto y giratoria. Este menor resultado de la mezcla espumada compactada a 130°C podría deberse a que el contenido de huecos es ligeramente superior al del resto de mezclas, lo que haría que el acondicionado en agua le afecte en mayor medida y su ITSR se vea reducido.

Los valores de CV_R son del orden del 5-10%.

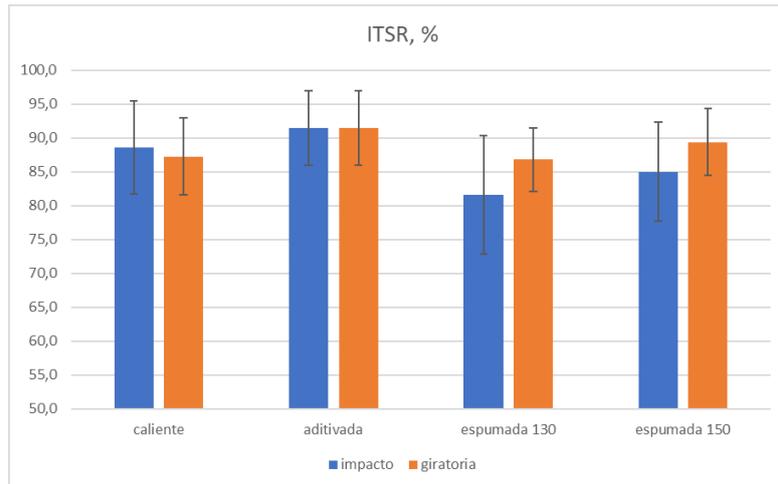


Figura 8. Resultados medios y desviaciones de reproducibilidad en la determinación de ITS

3.4 Ensayo de rodadura.

En la Figura 9 se presentan los resultados del ensayo de deformación en pista. Las mezclas espumadas presentan peor comportamiento para los dos parámetros (WTS y PRD), independientemente de la temperatura de compactación. Los resultados son del mismo orden de magnitud para la mezcla en caliente y para la semicaliente aditivada.

Los valores de precisión son del orden de los indicados en la norma de ensayo.

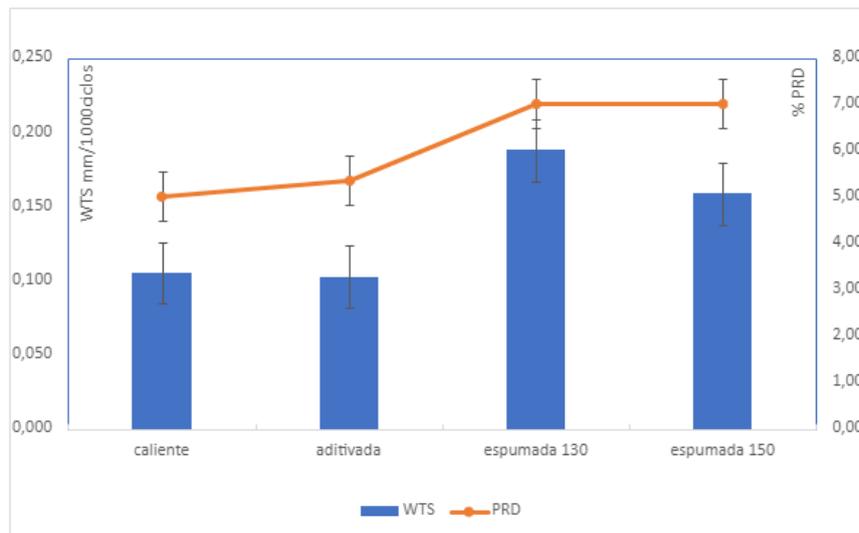


Figura 9. Resultados medios y desviaciones de reproducibilidad en la determinación de WTS y PRD

3.5 Módulo dinámico

Al igual que en el ensayo anterior, las diferencias no son significativas entre la mezcla en caliente y la semicaliente aditivada, pero el valor del módulo es menor para las mezclas espumadas, independientemente de la temperatura de compactación. Tampoco se detectan diferencias entre las probetas en función del tipo de compactación. Parece que la menor temperatura de compactación en la mezcla aditivada no se refleja en un menor módulo de rigidez respecto a la mezcla en caliente, como sería de esperar. Posiblemente esta igualdad de los módulos de ambas mezclas se pueda explicar mejor en base a la similitud entre ellas en los valores de densidad-huecos indicados anteriormente.

Los valores de CV_T son inferiores al 5% y los de CV_R pueden alcanzar el 15%.

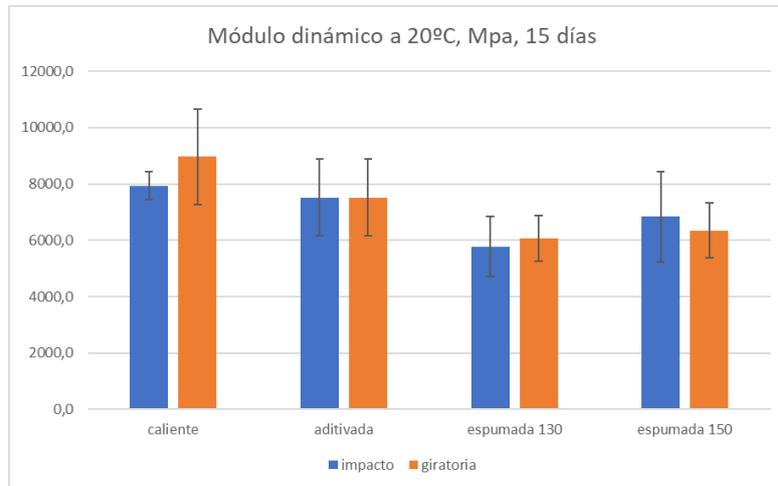


Figura 10. Resultados medios y desviaciones de reproducibilidad en la determinación de Módulo dinámico a 20°C

3.6 Ensayo SBC

Los valores medios del ensayo para la muestra en caliente son ligeramente más elevados que en las muestras semicaliente aditivada y espumadas, sin embargo, los elevados valores de desviación hacen que estas diferencias no sean significativas, tanto en los ensayos a 5 como a 20°C.

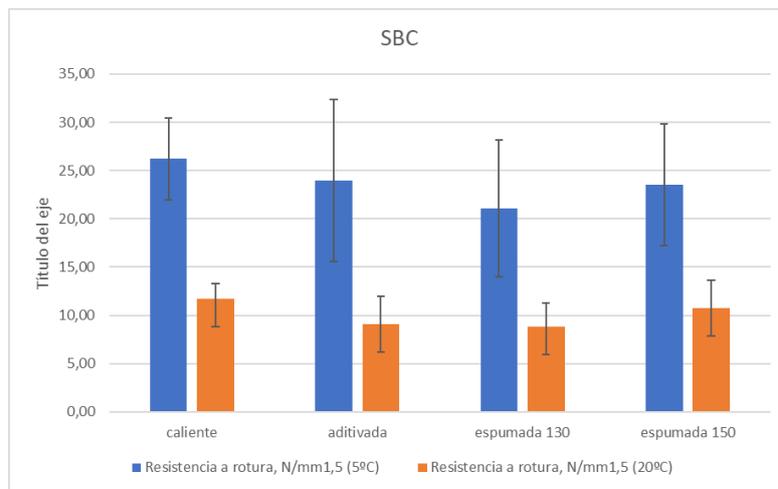


Figura 11. Resultados medios y desviaciones de reproducibilidad en el ensayo SBC

3.7 Ensayo Fénix

Respecto al ensayo Fénix, para evaluar la resistencia a la fisuración, se representan en el diagrama Fénix los valores de desplazamiento en tenacidad (DT) respecto a la resistencia a tracción (RT) a tres temperaturas de ensayo, 20, 5 y -5°C. Con los valores de cada mezcla se consigue su curva característica, y se puede clasificar en función de su ductilidad, tenacidad y resistencia.

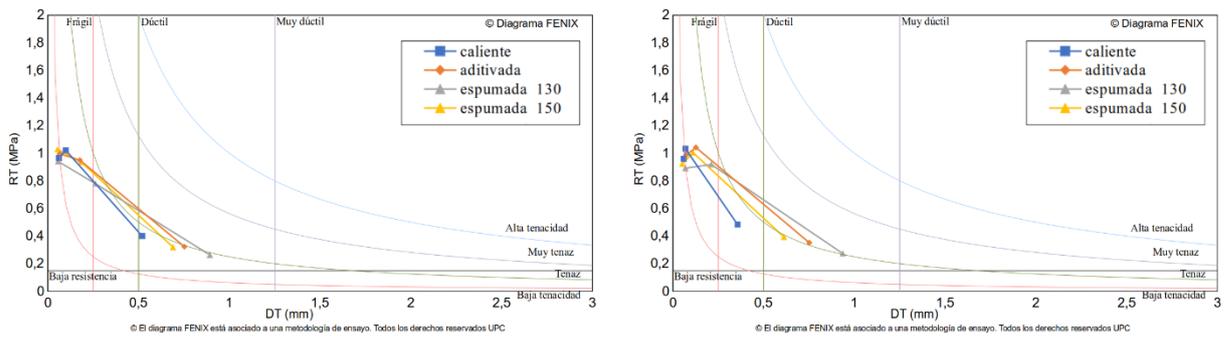


Figura 12. Diagrama Fénix. Probetas fabricadas mediante impacto (izquierda) y giratoria (derecha)

En la representación de los parámetros DT y RT se observa que, para cualquiera de los dos tipos de compactación, la mezcla caliente es la que presenta menor ductilidad a cualquier temperatura de ensayo respecto al resto de mezclas. Las mezclas semicalientes aditivada y la espumada compactada a 150°C tienen un comportamiento muy similar, y la que presenta un mejor comportamiento respecto a la fisuración, a través de los parámetros del ensayo Fénix, sería la mezcla espumada compactada a 130°C. En este caso, a 20°C la mezcla es más dúctil, pero a 5°C la diferencia respecto a las demás es más llamativa, presentando una menor resistencia a tracción pero mejor ductilidad y tenacidad.

Si se comparan los resultados por tipo de compactación, se observa que no hay una tendencia clara. En las mezclas caliente y espumada a 150°C, los resultados con las probetas compactadas mediante giros parecen ser algo peores que los de la compactación por impacto. En cambio, en las mezclas semicalientes aditivada y espumada a 130°C, los resultados son más similares.

Respecto a los valores de precisión, en el parámetro RT se obtienen unos coeficientes de variación aceptables, entre el 10 y el 15 %, pero en el parámetro DT los valores de repetibilidad y reproducibilidad son muy elevados, del orden del 60%, es decir, existe una alta dispersión. En las tablas 2 y 3 se muestran los valores obtenidos para las cuatro mezclas ensayadas.

Tabla 2. Ensayo Fenix. Valores medios y desviaciones de reproducibilidad para el parámetro resistencia a tracción (RT) y desplazamiento en tenacidad (DT), en probetas compactadas por impacto.

	medias				SR			
	caliente	aditiv.	espumada 130	espumada 150	caliente	aditiv.	espumada 130	espumada 150
RT, MPa (-5°C)	0,965	0,987	0,940	1,027	0,093	0,080	0,059	0,084
RT, Mpa (5°C)	1,020	1,041	0,779	0,935	0,095	0,072	0,120	0,070
RT, Mpa (20°C)	0,399	0,351	0,263	0,319	0,067	0,079	0,039	0,057
DT , mm (-5°C)	0,061	0,073	0,057	0,054	0,036	0,052	0,019	0,039
DT , mm (5°C)	0,099	0,127	0,262	0,185	0,064	0,095	0,105	0,066
DT , mm (20°C)	0,520	0,752	0,893	0,690	0,157	0,237	0,203	0,126

Tabla 3. Ensayo Fenix: Valores medios y desviaciones de reproducibilidad para el parámetro resistencia a tracción (RT) y desplazamiento en tenacidad (DT), en probetas con compactación giratoria.

	medias				Sr			
	caliente	aditiv.	espumada 130	espumada 150	caliente	aditiv.	espumada 130	espumada 150
RT, MPa (-5°C)	0,959	0,987	0,891	0,922	0,049	0,080	0,077	0,099
RT, Mpa (5°C)	1,032	1,041	0,918	1,004	0,097	0,072	0,084	0,060
RT, Mpa (20°C)	0,482	0,351	0,273	0,392	0,052	0,079	0,028	0,063
DT , mm (-5°C)	0,060	0,073	0,069	0,052	0,030	0,047	0,049	0,022
DT , mm (5°C)	0,069	0,127	0,212	0,111	0,054	0,095	0,085	0,060
DT , mm (20°C)	0,357	0,752	0,936	0,612	0,138	0,237	0,288	0,236

4 Conclusiones

Del trabajo realizado se extraen las siguientes conclusiones generales:

Analizando por sistema de compactación utilizado se puede concluir que:

- Para alcanzar una determinada densidad con la compactación con giratoria, se debe fijar una densidad de referencia (la de impacto), y no un número determinado de giros. En los trabajos realizados se ha comprobado que cada laboratorio ha necesitado un número muy diferente de giros en cada tipo de mezcla, y hay diferencias muy significativas entre los laboratorios.
- No se han apreciado diferencias significativas en función del tipo de compactación en cada tipo de mezcla en los ensayos de densidad, contenido de huecos, sensibilidad al agua o módulo de rigidez. En el ensayo Fénix no parece existir una tendencia clara en cuanto al tipo de compactación, ya que en la mezcla caliente y la espumada compactada a 150°C los resultados sería algo mejores en la compactación mediante impacto, mientras que en las semicaliente aditivada y espumada a 130°C los resultados son más similares.

Analizando por tecnología utilizada se puede concluir que:

- La densidad alcanzada en las probetas fabricadas es muy similar entre la mezcla en caliente y la semicaliente aditivada, pero en el caso de las espumadas, la densidad es algo menor, siendo más baja la compactada a 130°C. Como se ha indicado anteriormente, el hecho de que la fabricación de las probetas se haya realizado días después de la fabricación mediante espumación, ha podido influir en este resultado, ya que parte del efecto del espumado se habría perdido.
- En cuanto a los resultados de los ensayos, parece que la tendencia general es que la mezcla en caliente y la semicaliente aditivada presentan valores más parecidos en cuanto a sensibilidad al agua, módulo de rigidez y resistencia a las deformaciones plásticas, mientras que las mezclas espumadas, y especialmente la compactada a 130°C, obtendrían una menor resistencia a tracción indirecta en el ensayo de sensibilidad al agua en las probetas acondicionadas en húmedo, un menor módulo de rigidez, y una mayor deformación en el ensayo de rodadura. En el caso de la sensibilidad al agua y el módulo, esta diferencia podría achacarse a la técnica de fabricación, o a la menor densidad obtenida en las probetas cilíndricas, que afectaría a los resultados de estos ensayos.

- Respecto al ensayo Fénix, la mezcla con mayor ductilidad y tenacidad sería la semicaliente espumada compactada a 130°C, mientras que la de peor comportamiento frente a la fisuración evaluado a través del ensayo Fénix, sería la mezcla en caliente. Las semicalientes aditivadas y espumada a 150°C presentan un comportamiento muy similar. En este ensayo hay que señalar la gran dispersión en los resultados que se obtienen en el parámetro de ductilidad, obteniendo valores de repetibilidad y reproducibilidad muy elevados.
- En el ensayo SCB se han obtenido unos valores de dispersión muy elevados. No obstante, el número de laboratorios, en este caso era muy reducido.

En resumen, según los resultados obtenidos en este trabajo, todo parece indicar que el sistema de compactación para esta tipología de mezclas a baja temperatura puede ser igualmente válido por impacto como por giratoria, pero en este último caso, compactando a una densidad de referencia definida que sería la obtenida por impacto. Por lo tanto, parece más lógico, trabajar por impacto, para reducir trabajo y también porque es un sistema de compactación más universal y que cualquier laboratorio de control dispone.

En cuanto a la tecnología para fabricar mezclas semicalientes (espumación directa o aditivación), teniendo en cuenta los resultados obtenidos indican que, la tecnología por aditivación permite obtener mezclas con densidades similares a la mezcla en caliente, pero necesitando menos energía lo que indica una buena trabajabilidad de la mezcla a menor temperatura y prestaciones mejores que las mezclas espumadas en sensibilidad al agua y modulo. En cuanto a la tenacidad, la mezcla espumada a 130 es la que presenta un mejor comportamiento. Todo parece indicar que el efecto del aditivo, permanece en la mezcla pero la espumación desaparece al menos en gran medida y esto tiene su repercusión en las propiedades de la mezcla.