

IAG88-06-2013
INFLUENCIA DEL TIPO DE COMPACTACIÓN EN LA ADHESIVIDAD Y
RIGIDEZ DE MEZCLAS BITUMINOSAS SEMICALIENTES
INFLUÊNCIA DO TIPO DE COMPACTAÇÃO NA ADERÊNCIA E
RIGIDEZ DE MISTURAS BETUMINOSAS DE SEMICALIENTES

Ángel Vega-Zamanillo

Universidad de Cantabria. E.T.S. Ingenieros de C., C. y P. Grupo Caminos Santander-GCS-
Santander, España
vegaa@unican.es

Elsa Sánchez-Alonso

Universidad de Cantabria. E.T.S. Ingenieros de C., C. y P. Grupo Caminos Santander-GCS-
Santander, España
elsa.sanchez@alumnos.unican.es

Miguel Á. Calzada-Pérez

Universidad de Cantabria. E.T.S. Ingenieros de C., C. y P. Grupo Caminos Santander-GCS-
Santander, España
calzadam@unican.es

Resumen

La Universidad de Cantabria, dentro de proyecto FENIX, ha estudiado el efecto de aditivos en las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas. En esta ponencia se presentan los resultados de las propiedades mecánicas, como la adhesividad y la rigidez de mezclas bituminosas, compactadas por dos métodos diferentes: por impacto (método Marshall) y por compactación giratoria. Se han fabricado a diferentes temperaturas mezclas tipo Asphalt Concrete con un ligante de penetración B-50/70, y se han empleado tres tipos de aditivos de diferente naturaleza, un tensoactivo, una zeolita y una cera.

Los resultados indicaron que las mezclas bituminosas compactadas con máquina giratoria presentaron mejor comportamiento con respecto a la sensibilidad al agua que las mezclas compactadas por impacto a una misma temperatura de fabricación. En el caso de los módulos de rigidez y para ambos tipos de compactación se produjo un descenso del valor del módulo con la disminución de la temperatura, siendo esta reducción más acusada en el caso de las mezclas compactadas por impacto.

Resumo

A Universidade de Cantabria, parte do Projeto Fênix, estudou o efeito de aditivos nas propriedades mecánicas de misturas betuminosas. Este trabalho apresenta os resultados das propriedades mecánicas, tais como a aderência e a rigidez de misturas betuminosas, compactado por dois métodos diferentes: impacto (método Marshall) e compactação giratória. Eles são

fabricados em temperaturas diferentes misturas tipo concreto de asfalto com um fichário de penetração B-50/70, e utilizaram-se três tipos de aditivos, de natureza diferente, um surfactante, uma zeólita e cera.

Os resultados indicaram que com máquina rotativa misturas betuminosas compactadas mostraram melhor desempenho em relação à sensibilidade à água que misturas compactadas por impacto à mesma temperatura de fabricação. No caso de módulos de rigidez e para os dois tipos de compactação, ocorreu uma diminuição do valor do módulo com a diminuição da temperatura, sendo esta redução mais acentuada no caso de misturas compactadas por impacto.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen en el mercado diferentes aditivos que están siendo utilizados en las mezclas bituminosas para reducir el consumo energético, mediante la disminución de las temperaturas de fabricación y manteniendo, o incluso mejorando algunas de las propiedades mecánicas exigidas a las mezclas bituminosas convencionales (HMA) (Sanchez-Alonso et al. 2011).

A escala de laboratorio se pueden utilizar diversos métodos de compactación que simulan las condiciones obtenidas en obra. La elección de un método u otro dependerá del método de diseño de mezcla que se vaya utilizar, variando con ello las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas como el porcentaje de huecos en mezcla (Khan et al. 1998).

En muchos países, se sigue utilizando el método Marshall como diseño de mezcla (Anjan and Veeraragavan, 2010). Con este método se fabrican las probetas por impacto, determinándose el contenido óptimo de ligante mediante el estudio de huecos en mezcla (Garnica Anguas et al. 2005). Este proceso de diseño de mezclas es empírico y no tiene en cuenta los efectos de las cargas debidas al tráfico o las condiciones medioambientales a las que se va a someter el pavimento (Asi 2007).

El diseño de mezcla mediante el método Superpave se basa en la utilización de la compactación giratoria, e indica una serie de pasos previos de caracterización de los materiales (análisis de los áridos y del ligante) para posteriormente diseñar la mezcla utilizando el método volumétrico (Asi 2007). Este método indica unas condiciones específicas de compactación que son: 30rpm, 600kPa y un ángulo de giro de 1,25°. En cambio, en Europa la normativa indica que el ángulo de giro sea de 0,82° (EN 12697-31, 2008). La compactación giratoria simula de forma más real las cargas y las presiones generadas por el tráfico durante su vida útil (Khan et al. 1998), y simula el efecto de amasado y compactación en obra (Anjan and Veeraragavan 2010).

METODOLOGÍA Y DESARROLLO

El objetivo planteado en este estudio es un estudio comparativo de dos técnicas de compactación: por impacto y giratoria según norma europea, sobre mezclas bituminosas; midiendo las propiedades mecánicas como la sensibilidad al agua y la rigidez a diferentes temperaturas de envuelta y compactación, utilizando a su vez aditivos que ayudan a reducir las temperaturas de

trabajo, y determinando su validez para utilizarla en la capa de rodadura o en la capa intermedia de un pavimento.

Materiales

Para este trabajo se ha elegido una granulometría de tamaño máximo de árido de 16mm (AC16Surf) ajustada al centro del huso, para capa de rodadura, utilizando áridos gruesos ofíticos, arena caliza y cemento como filler de aportación (PG-3 2008). Las mezclas fueron fabricadas con un ligante tipo B-50/70, obteniéndose el óptimo de ligante mediante el ensayo por impacto (UNE 12697-30) y análisis de huecos en mezcla (UNE 12697-8), resultando ser un 4,85% w/m.

Para la fabricación de las mezclas se han utilizado tres temperaturas de fabricación distintas: 160°C, temperatura habitual de las mezclas en caliente y 140°C y 120°C temperaturas de las mezclas semicalientes (Sanchez-Alonso et al. 2011).

Para la realización de este estudio se han fabricado cuatro tipos de mezclas distintas: la de Referencia -R- (con ligante convencional sin modificar), y 3 mezclas aditivadas, con aditivos comerciales de diferente naturaleza, cuya composición se describe a continuación:

- T: tensoactivo formado por diferentes sustancias amínicas que mejora la adherencia entre el árido y el ligante. Se ha empleado en un 0,4% w/b.
- P: parafina obtenida mediante el proceso de síntesis Fischer-Tropsch, soluble en el ligante asfáltico. Se añadió al ligante un 3% en peso de éste.
- Z: zeolita sintética en forma de polvo con una proporción del 21% en masa de agua, que provoca el espumado del betún. Se añadió un 0,3% sobre la masa de la mezcla.

Métodos de fabricación y compactación

Se han utilizado dos métodos de compactación diferentes, la compactación por impacto o Marshall y, la compactación giratoria. Para ello se ha llevado a cabo el siguiente procedimiento. Primero se fabricaron a distintas temperaturas y tipo de mezcla, probetas Marshall (diámetro 101,6mm, altura 63,5mm) a diferente número de golpes dependiendo del ensayo (50 golpes/cara para sensibilidad al agua y 75 golpes/cara para rigidez) con el óptimo de ligante calculado previamente a partir de los huecos en mezcla, siendo posteriormente ensayadas como indican las normas europeas (EN 12697-12:2006 y EN 12697-26:2006).

En el caso de la fabricación de las probetas con máquina giratoria (Figura 1), de diámetro de molde igual a 100 milímetros, en lugar de determinar el óptimo de ligante según las indicaciones Superpave, lo que se hizo fue, usando la misma granulometría y contenido de ligante que en el caso Marshall, determinar la densidad geométrica de las mezclas compactadas con el método por impacto y utilizarlo como límite en la compactación, obteniéndose probetas con densidad geométrica similar con la máquina giratoria que sus homólogas Marshall (Tabla 1). De este forma

se puede comparar el efecto de la compactación en las mezclas bituminosas en las propiedades mecánicas, sin que existan más variables a tener en cuenta, como el contenido de ligante, que en el caso de la compactación con máquina giratoria suele ser superior al obtenido con el Marshall (Anjan and Veeraragavan, 2010).



Figura 1: Máquina giratoria

Las probetas fabricadas para el ensayo de sensibilidad al agua son menos densas que el ensayo de rigidez, pues se compactan con 50 golpes por cara, y en el segundo caso con 75 golpes por cara .

Tabla 1: Densidades geométricas con máquina giratoria

Tipo de mezcla	Tipo de ensayo	Densidad Geométrica (g/cm ³)		
		160°C	140°C	120°C
R Referencia	Sensibilidad al Agua	2,447	2,424	2,412
	Rigidez	2,488	2,461	2,441
T R+Tensoactivo	Sensibilidad al Agua	2,430	2,411	2,410
	Rigidez	2,462	2,460	2,455
P R+Parafina	Sensibilidad al Agua	2,471	2,461	2,459
	Rigidez	2,493	2,489	2,480
Z R+Zeólita	Sensibilidad al Agua	2,469	2,464	2,432
	Rigidez	2,486	2,471	2,469

Ensayo de sensibilidad al agua

Se ha realizado un estudio de la adhesividad árido-ligante según el procedimiento que marca la norma UNE 12697-12. Este ensayo analiza el efecto de la saturación y la inmersión de la mezcla

en agua de la resistencia a tracción indirecta en probetas de tipo Marshall (Figura 2). En España, la normativa marca que para mezclas de capa de rodadura la resistencia conservada realizada a 15°C debe ser como mínimo del 85%, y en el caso de capa base o intermedia del 80% (PG-3 2008).

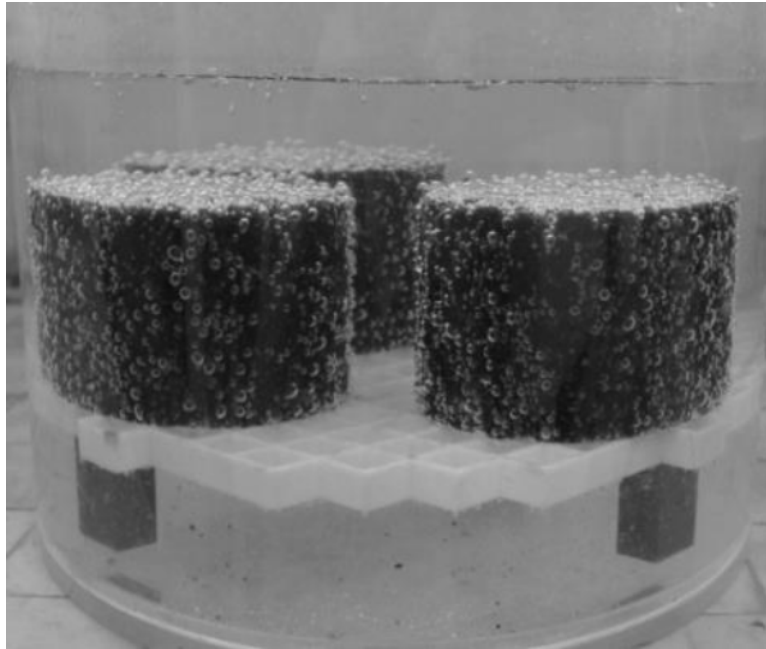


Figura 2: Probetas sumergidas

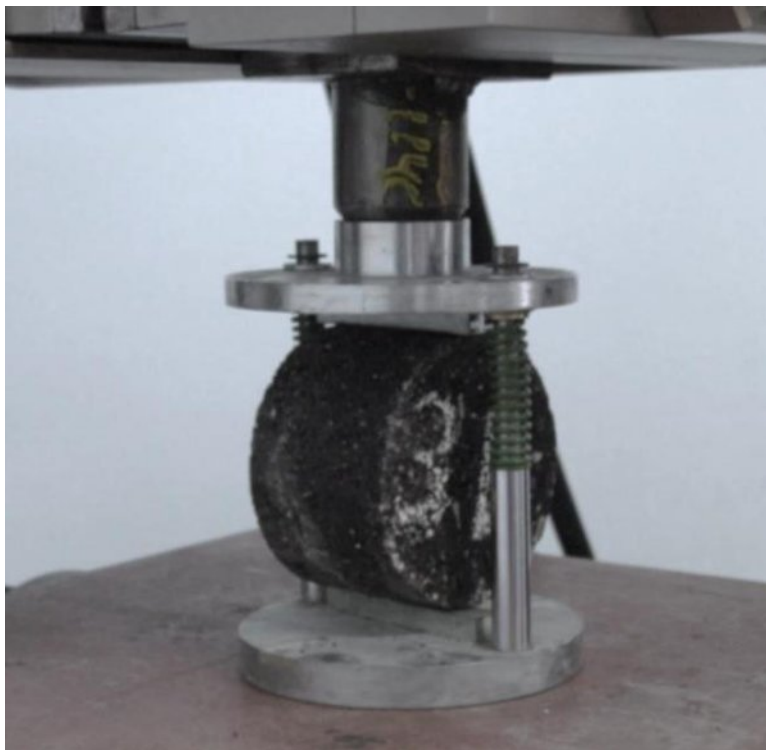


Figura 3: Rotura a tracción indirecta

Se han fabricado 8 probetas AC16Surf B60/70 para cada tipo de mezcla (con y sin aditivo), temperatura de estudio y forma de compactación. Las probetas fueron separadas en dos grupos homogéneos y sometidas al tratamiento que indica la norma (probetas en seco y probetas en húmedo). Los dos grupos de probetas se rompieron al cabo de tres días a tracción indirecta (Figura 3), según la UNE 12697-23, mediante una máquina universal de ensayos estática. Se calculó la resistencia a tracción de las probetas conservadas en húmedo (ITSW) y en seco (ITSD), a partir de los cuales se calculó su relación de la resistencia conservada (ITSR).

Ensayo de módulo de rigidez

Una de las variables básicas para conocer el comportamiento estructural en carretera de las mezclas bituminosas es la medición de los módulos de rigidez. Siguiendo las indicaciones de la norma UNE 12697-26, se ha calculado el módulo resiliente de las mezclas a una temperatura de ensayo de 20°C, mediante un ensayo de tracción indirecta en probetas cilíndricas (anexo C). Para la realización del ensayo se empleó una máquina dinámica con una célula de carga de 10Kn (Figura 4).

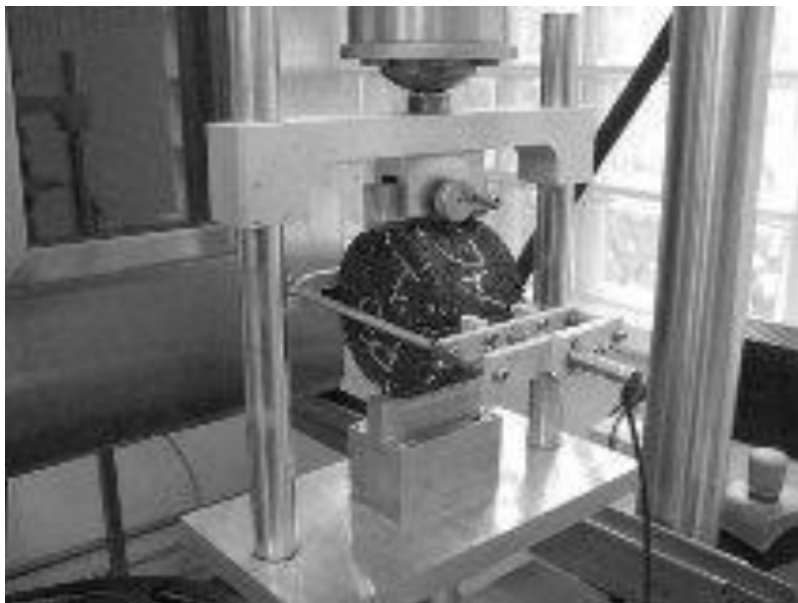


Figura 4: Ensayo de rigidez

Se fabricaron cuatro probetas tipo AC16Surf B60/70 por cada tipo de aditivo, temperatura de trabajo y tipo de compactación. Tal y como especifica la norma, las probetas se mantuvieron a una temperatura constante de 20°C en una sala climatizada al menos durante un período de 24h. Posteriormente se realizó el ensayo mediante tracción indirecta. Cada ensayo consta de 16 ciclos de carga de 3s cada uno, empleándose los ciclos del 11 al 15 para el cálculo de los módulos ya que los anteriores son considerados como de asentamiento de la probeta. Para cada ciclo, la tensión es constante y se calcula el módulo con la amplitud máxima de la deformación elástica obtenida en cada uno, haciéndose posteriormente la media del módulo de los 5 ciclos.

RESULTADOS SOBRE SENSIBILIDAD AL AGUA

En el caso de la compactación Marshall se ha comprobado que todos los aditivos utilizados mejoraron la adhesividad de la mezcla de Referencia para todas temperaturas de ensayo. A la temperatura de envuelta y compactación de 160°C, condiciones usuales de fabricación en obra, el aditivo químico (T) han mejorado la sensibilidad con respecto a la mezcla de Referencia. Con los aditivos P y Z se ha obtenido el mismo valor de resistencia conservada que la mezcla de Referencia. Disminuyendo las temperaturas de fabricación, se pudo comprobar que el aditivo P fue el único que cumplió la resistencia conservada correspondiente para capa de rodadura a 140°C y 120°C. El aditivo T cumplió la normativa para capa base e intermedia a 140°C y, el aditivo Z fue el único que reduciendo la temperatura de fabricación y compactación no ha llegado a cumplir con lo marcado en la normativa española.

En el caso de la compactación giratoria, se ha obtenido que la mayoría de las mezclas presentaron una resistencia conservada superior al 85%, a excepción de la referencia y la mezcla con el aditivo T ambas a 120 °C, que alcanzaron el 80% de %ITSR, valor mínimo exigido para capa base e intermedia.

Comparando ambas compactaciones se observa que las mezclas fabricadas mediante compactadora giratoria fueron menos resistentes a tracción indirecta, tanto en probetas secas como en húmedas, a sus homologas Marshall, aunque no su relación (Tabla 2). Estadísticamente se comprobó que los resultados de sensibilidad al agua están influenciados principalmente por el tipo de compactación realizado, y segundo, por las temperaturas de fabricación y compactación y por la naturaleza del aditivo.

Tabla 2: Sensibilidad al agua

Tipo de mezcla	%ITSR					
	Marshall			Giratoria		
	160°C	140°C	120°C	160°C	140°C	120°C
R	85	68	56	94	94	82
T	91	80	70	98	94	81
P	86	85	88	96	94	97
Z	85	77	63	96	95	93

Los títulos de las Figuras y/o Fotografías deben estar en Arial 10, negrita y colocados por debajo de las mismas. Deberán estar centrados y a 6 puntos de espacio desde la figura. No deberá haber punto al final de los títulos. Numere las figuras consecutivamente (numeración arábica), que deberán tener una resolución mínima de 300 dpi. Al referenciarlas dentro del texto, deberá colocar la primera letra en mayúscula (Figura 2).

RESULTADOS SOBRE MÓDULO DE RIGIDEZ

En el caso de la compactación Marshall, se ha observado que en las mezclas de Referencia al disminuir la temperatura de fabricación y compactación disminuye su módulo, siendo a 120°C

casi la mitad del obtenido a 160°C. La utilización de los diferentes aditivos disminuye el módulo dinámico de la mezcla entre 20% y 40% con respecto a la mezcla de Referencia a 160°C. Comparando los módulos de las diferentes mezclas aditivadas a las distintas temperaturas de trabajo, se ha apreciado que la variación del módulo es mucho menor que la producida en la mezcla de Referencia. Es destacable que los aditivos P y Z presentan una rigidez superior a la mezcla de Referencia al disminuir la temperatura de trabajo.

En el caso de la compactación giratoria, se ha visto que los módulos obtenidos por la mezcla de Referencia son más cercanos entre sí que en el caso de la compactación por impacto, es decir la variación con respecto a la temperatura es menos acusada. Con el uso de aditivos, los valores de los módulos son más próximos a los de la mezclas de Referencia a las tres temperaturas de estudio. En este caso es de destacar que el aditivo P, que posee una rigidez superior a la mezcla de Referencia, es menos sensible a la variación de la temperatura.

En ambos tipos de compactación se observa que al aumentar el porcentaje de huecos y al disminuir la temperatura de trabajo, el módulo de rigidez disminuye, lo cual es lógico ya que al poseer más huecos la mezcla se vuelve menos rígida (Tabla 3). Estadísticamente se comprobó que los resultados de los módulos de rigidez están influenciados por el tipo de compactación, por las temperaturas de fabricación y compactación y por la naturaleza del aditivo.

Tabla 3: Módulo de rigidez

Tipo de mezcla	Módulos de Rigidez (MPa)					
	Marshall			Giratoria		
	160°C	140°C	120°C	160°C	140°C	120°C
R	9870	7996	4733	7221	5259	4850
T	5862	5700	5255	5673	4992	4716
P	8117	8088	7850	7834	7377	7074
Z	7263	7070	6019	7190	5900	4798

CONCLUSIONES

Las probetas fabricadas para el ensayo de sensibilidad al agua son menos densas que el ensayo de rigidez, debido a que las primeras se compactan con 50 golpes por cara, y en el segundo caso con 75 golpes por cara.

Se ha comprobado que para ambos tipos de compactación, la adición de aditivos mejora la sensibilidad al agua con respecto a una mezcla de referencia a una misma temperatura debido a la mejora de la adhesividad. En el caso de la compactación giratoria, todas las mezclas fabricadas han llegado a los valores exigidos por la normativa española. Comparando ambos tipos de compactación, las probetas fabricadas con máquina giratoria han logrado valores de ITSR superiores a sus homólogas Marshall.

En el caso del estudio del módulo de rigidez realizado a 20°C, se ha comprobado que las mezclas fabricadas con máquina giratoria son menos rígidas que sus homólogas Marshall, debido al efecto de amasado y acomodamiento de las partículas que se produce durante la compactación. En el caso de la influencia de la temperatura de

fabricación y compactación, se ha comprobado que el módulo de las mezclas de Referencia disminuye en ambos tipos de compactación al bajar la temperatura, siendo en el caso de la compactación giratoria una variación menos acusada. En el caso de la compactación por impacto se ha observado que el uso de aditivos produce una menor variación del módulo con la temperatura que la mezcla de Referencia, en cambio con la compactación giratoria los módulos de las mezclas aditivadas son similares a las de Referencia a esas mismas temperaturas.

Se ha comprobado estadísticamente que tanto para el ensayo de la sensibilidad al agua como la medición de los módulos de rigidez, influye el tipo de compactación empleado, las temperaturas de fabricación y compactación y la naturaleza del aditivo empleado.

AGRADECIMIENTOS

La realización del Proyecto Fénix (www.proyectofenix.es) ha sido posible gracias a la contribución financiera del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) dentro del marco del programa Ingenio 2010, concretamente, a través del Programa CENIT. Las empresas y centros de investigación que participan en el Proyecto desean mostrar su gratitud por dicha contribución. Los autores quieren agradecer a todas las organizaciones y empresas participantes del Proyecto Fénix: Centro de Investigación Elpidio Sánchez Marcos (CIESM), Centro Zaragoza, Construcciones y Obras Llorente (Collosa), Ditecpesa, Asfaltos y Construcciones Elsan, Intrame, Pavasal, Repsol YPF, Sacyr, Serviá Cantó, Sorigué, CARTIF, CEDEX, CIDAUT, CSIC (IIQAB), GIASA, Intromac, Labein, Universidad de Alcalá de Henares, Universidad Carlos III de Madrid, Universidad de Castilla La Mancha, Universidad de Huelva, Universidad de Cantabria, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad Politécnica de Madrid, y a sus numerosos colaboradores cuya capacidad de trabajo y eficacia están permitiendo el desarrollo de este Proyecto en un ambiente de cooperación.

REFERENCIAS

- Anjan Kumar, S. and Veeraragavan, A. (2010). Performance based binder type selection using mixed integer programming technique. *Construction and Building Materials* 24(11), 2091-2100.
- Asi, I.M. (2007). Performance evaluation of Superpave and Marshall asphalt mix designs to suite Jordan climatic and traffic conditions. *Construction and Building Materials* 21(8), 1732-1740.
- Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., Sandoval Sandoval, C.D. (2005). Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas. Instituto Mexicano del Asfalto, Technical Report N° 271. ISSN: 0188-7297.
- Khan, Z.A., Al-Abdul Wahab, H.I., Asi, I., Ramadhan, R. (1998). Comparative study of asphalt concrete laboratory compaction methods to simulate field compaction. *Construction and Building Materials* 12 (6-7), 373-384.

PG-3. (2008). Colección normativa técnica. Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes. Artículo 542: Mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso. Ministerio de Fomento. España.

Sanchez-Alonso, E.; Castro-Fresno, D.; Vega-Zamanillo, A.; Rodriguez-Hernandez, J. Sustainable Asphalt Mixes: Use of Additives and Recycled Materials. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 6(4): 249-257.