

**COMPOSICIÓN DE ADITIVO PARA CONGLOMERADOS BITUMINOSOS CON
ALTOS DESEMPEÑOS MECÁNICOS**

Campo de la Invención

5 La presente invención se refiere al campo técnico de la producción de conglomerados bituminosos para pavimentación de carreteras.

 En particular, la invención se refiere a una composición de aditivo para conglomerados bituminosos que
10 permite mejorar el desempeño mecánico del conglomerado bituminoso que comprende este aditivo, así como prolongar la vida útil de la pavimentación de carreteras elaborada con este conglomerado bituminoso.

Antecedentes de la Invención

15 La necesidad de desarrollar tecnologías y productos tan ecológicamente responsable como sea posible está aún vigente en todo el campo de la industria petroquímica, especialmente en el campo de los conglomerados asfálticos y bituminosos.

 Esta necesidad conlleva la búsqueda de materiales que
20 sean lo más compatible como sea posible con el ambiente natural y antrópico, así como tratar de optimizar los procesos de producción de los mismos, disminuyendo la explotación total de las materias primas, por lo tanto de la huella de carbono debida a estos procesos.

25 Se conoce bien en la técnica además el uso de aditivos

para mejorar los desempeños de los conglomerados bituminosos, y de los asfaltos en general, por ejemplo, estos aditivos pueden ser composiciones que comprenden polímeros termoplásticos para mejorar las propiedades mecánicas del
5 asfalto bituminoso que contiene estos aditivos, en particular la resistencia a la rotura y resistencia a formación de grietas en el conglomerado bituminoso, habitualmente usado como superficie de cubierta para carreteras.

Una composición de asfalto, que comprende agregados,
10 material granular o en polvo derivado de trozos de caucho, por ejemplo neumáticos, y una mezcla de polímeros termoplásticos y copolímeros, así como aditivos y materiales de relleno adicionales se describe en la solicitud de patente internacional W02015179553.

15 La solicitud de patente China CN106280505 se refiere a un aditivo para asfaltos en forma de una mezcla, que comprende poliolefinas en gránulos y otros materiales que incluyen un plastificante, preferentemente dioctilftalato. Este aditivo también es efectivo al disminuir formación de grietas en
20 asfaltos elaborados con él.

La patente China CN102585520 se refiere a un aditivo para asfalto, que comprende polipropileno, polietileno, PVB, que comprende dioctilftalato también como plastificante, y además: un agente dispersante, un agente tixotrópico y un polvo
25 basado en metal. Este aditivo mejora los desempeños de las

mezclas de asfalto.

La solicitud de patente China CN103509356 también se refiere a una mezcla de asfalto que comprende poliolefinas (polietileno, estireno-butadieno-estireno, tereftalato de polietileno), polivinilbutiral como agente de unión y un material de relleno.

En cualquier caso, aunque los aditivos para mejorar las propiedades químicas y mecánicas de los asfaltos comercialmente disponibles, así como los asfaltos que se pueden elaborar con estos aditivos, se formulan en general teniendo en cuenta el impacto ambiental, por ejemplo, comprendiendo materiales en trozos de otros procesos industriales o materiales reciclados, como es el caso, por ejemplo, de la composición de asfalto descrita en la solicitud W02015179553, estos productos todavía no son capaces de combinar la mejora de las propiedades mecánicas de los conglomerados bituminosos con una disminución concreta del impacto ambiental al producir los mismos, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo de la materia prima usada.

A la luz de la técnica anterior mencionada anteriormente, el problema que fundamenta la presente invención fue proporcionar una composición de aditivo propuesta para que se mezcle en conglomerados bituminosos para pavimentación de carreteras, en donde la composición fue adecuada para mejorar las propiedades mecánicas del conglomerado bituminoso elaborado al mezclar esta composición con otros componentes

apropiados y al mismo tiempo carece de las desventajas mencionadas anteriormente, por lo tanto, al mismo tiempo que es más ambientalmente sustentable.

Breve Descripción de la Invención

5 Este problema se ha resuelto al proporcionar una composición de aditivo propuesta para que se mezcle en un conglomerado bituminoso para pavimentación de carreteras y adecuada para mejorar las propiedades mecánicas de este conglomerado bituminoso, que comprende al menos un polímero
10 termoplástico, un compuesto polimérico seleccionado del grupo que consiste de polivinilbutiral (PVB), polietilacrilato (PEA) polimetilacrilato (PMA), polibutilacrilato (PBA), lignina y mezclas de los mismos, y grafeno.

Más preferentemente, el por lo menos un polímero
15 termoplástico es una poliolefina, preferentemente es polietileno o polipropileno, o cualquier otra mezcla de polietileno y polipropileno.

Más preferentemente, el polímero termoplástico es una mezcla de polietileno y polipropileno que comprende una
20 cantidad de polietileno entre 25 y 75% en peso con base en el peso total de la mezcla.

Incluso más preferentemente el polímero termoplástico es una mezcla de polietileno y polipropileno como se reporta en la siguiente Tabla 1, en donde los valores en peso se
25 calculan en el peso total de la mezcla de polietileno y

polipropileno.

Tabla 1

Polietileno (%)	Polipropileno (%)
30	70
40	60
50	50
60	40
70	30

Preferentemente, el por lo menos un polímero termoplástico es material reciclado.

De manera alternativa, el polímero termoplástico usado en la composición de aditivo de acuerdo con la presente invención es material virgen o una mezcla del material reciclado mencionado anteriormente y material virgen.

De manera ventajosa, la composición de aditivo de acuerdo con la presente invención, propuesta para que se mezcle en conglomerados bituminosos, puede consistir esencialmente de los componentes mencionados anteriormente, sin la ayuda de componentes adicionales, tal como plastificantes, compuestos de azufre, sales y/u otros materiales.

De manera igualmente preferida, el compuesto polimérico contenido en la composición de aditivo de acuerdo con la invención es polivinilbutiral (PVB).

De acuerdo con una modalidad preferida, el compuesto polimérico mencionado anteriormente es un compuesto reciclado, preferentemente PVB reciclado, más preferentemente obtenido

por medio de un proceso de recuperación del mismo del tratamiento posterior al uso del parabrisas del vehículo y/o doble acristalamiento de edificios.

5 De manera alternativa, el compuesto polimérico mencionado anteriormente, en particular polivinilbutiral, usado en la composición de aditivo de acuerdo con la presente invención es material virgen o una mezcla del material reciclado mencionado anteriormente y material virgen.

10 De acuerdo con la presente invención, con el término "grafeno" significa un material de carbono con estructura bidimensional de capas monoatómicas de carbono con matriz hexagonal, en donde cada átomo de carbono se enlaza a otros tres átomos de carbono por un enlace covalente y se enlaza a los átomos de las capas adyacentes por fuerzas de Van Der
15 Waals, además de que significa cualquier derivado funcionalizado de este material de carbono, por ejemplo óxido de grafeno, es decir, grafeno parcialmente funcionalizado con grupos que comprenden oxígeno.

El grafeno usado en la composición de aditivo de acuerdo
20 con la presente invención preferentemente tiene una densidad aparente entre 2 y 100 g/dm³, más preferentemente entre 10 y 70 g/dm³; al mismo tiempo, el grafeno usado en la composición de aditivo de acuerdo con la presente invención tiene un área superficial entre 10 y 300 m²/g.

25 Esta área superficial se mide por medio de un método

BET por absorción de gas inerte (nitrógeno), en particular de acuerdo con el procedimiento ISO 9277:2010.

Adicionalmente, las dimensiones laterales de las capas de grafeno son más pequeñas de 200 μm , preferentemente más
5 pequeñas de 100 μm , más preferentemente más pequeñas de 50 μm .

De acuerdo con una modalidad preferida, el grafeno usado en la composición de aditivo de acuerdo con la presente invención es grafeno reciclado.

De manera alternativa, el grafeno usado en la
10 composición de aditivo de acuerdo con la presente invención es grafeno virgen o una mezcla de grafeno reciclado y grafeno virgen.

Por lo tanto, de manera absolutamente ventajosa, la composición de aditivo propuesta para que se mezcle en
15 conglomerados bituminosos para pavimentación de carreteras de acuerdo con la invención puede existir como mezcla de materiales parcialmente o totalmente reciclados; la composición de aditivo de acuerdo con la invención es, por consiguiente, de manera particular ambientalmente sustentable,
20 determinando no solo un claro ahorro neto de materias primas, sino también una disminución relacionada de emisiones de dióxido de carbono (que de otro modo se emitirán en el ambiente durante los procesos de síntesis de los materiales en cuestión).

25 Preferentemente, el grafeno incluido en la composición

de aditivo de acuerdo con la invención está contenido en una cantidad entre 0.005 y 1%, más preferentemente entre 0.005 y 0.15%, incluso más preferentemente entre 0.01 y 0.1% en peso con base en el peso total de la composición.

5 De manera igualmente preferida, el polímero termoplástico mencionado anteriormente comprendido en la composición de aditivo de acuerdo con la invención está contenido en una cantidad entre 45 y 95%, más preferentemente entre 50 y 90% en peso con base en el peso total de la
10 composición.

De manera igualmente preferida, el compuesto polimérico mencionado anteriormente comprendido en la composición de aditivo de acuerdo con la invención, preferentemente polivinilbutiral, está contenido en una cantidad entre 5 y 55%,
15 más preferentemente entre 10 y 50% en peso con base en el peso total de la composición.

Una composición de aditivo particularmente preferida propuesta para que se mezcle en conglomerados bituminosos consiste de los siguientes componentes, expresados en
20 porcentaje en peso con base en el peso total de la composición:

material termoplástico 50-95

polivinilbutiral 5-50

grafeno 0.005-1

Todos los porcentajes indicados en el texto de la
25 presente solicitud se van a entender como porcentajes

peso/peso, a menos que se especifique lo contrario.

La composición de aditivo de acuerdo con la invención se produce en forma de partícula, por ejemplo en forma granular o en forma de trocitos, preferentemente con partículas que
5 tienen un diámetro promedio entre 0.5 y 10 mm, más preferentemente entre 4 y 6 mm, o en forma de polvo, preferentemente con partículas que tienen un diámetro promedio entre 0.08 y 3 mm, más preferentemente entre 0.5 y 3 mm.

De manera consistente, la composición de aditivo de
10 acuerdo con la invención se puede obtener por un proceso que comprende la molienda separada del polímero termoplástico mencionado anteriormente, del compuesto polimérico, preferentemente polivinilbutiral, y del grafeno y sus mezclas posteriores.

15 De manera totalmente preferida, el proceso mencionado anteriormente para obtener la composición de aditivo de acuerdo con la invención da como resultado la obtención de una composición de aditivo de acuerdo con la invención en forma de polvo o en forma granular con partículas que tienen un diámetro
20 promedio entre 0.08 y 3 mm, preferentemente entre 0.5 y 3 mm.

Preferentemente, el paso de molienda mencionado anteriormente se puede realizar con la ayuda de un molino con rotor enfriado o un rotor granulador o por molienda criogénica.

De manera ventajosa, también se contempla el uso de la
25 composición de aditivo de acuerdo con la presente invención,

en cualquiera de sus modalidades, para producir conglomerados bituminosos, a fin de mejorar sus desempeños mecánicos, así como para prolongar la vida útil de la pavimentación de carreteras elaborada con estos conglomerados bituminosos.

5 La composición de aditivo mencionada anteriormente de acuerdo con la invención se puede usar a su vez para preparar un conglomerado bituminoso adecuado para elaborar pavimentación de carreteras con altos desempeños mecánicos. Este conglomerado bituminoso incluye agregados, que incluyen,
10 por ejemplo, materiales inertes, inorgánicos tal como materiales de piedra triturada, escoria granular y triturada, agregados artificiales producidos, por ejemplo, por fusión de alta temperatura de ciertos minerales o rocas (por ejemplo, bauxita o determinadas arcillas), agentes de relleno, betún
15 así como la composición de aditivo mencionada anteriormente, que en general está contenida en una cantidad de entre 0.09 y 15%, preferentemente entre 2 y 6%, más preferentemente 5%, en peso con base en el peso total del betún

 Preferentemente, este conglomerado bituminoso incluye
20 una cantidad de betún de entre 3 y 7% en peso con base en el peso total del conglomerado bituminoso, más preferentemente una cantidad de betún de entre 4 y 6.5% en peso con base en el peso total del conglomerado bituminoso.

 De acuerdo con la presente invención, con el término
25 "betún" significa en general un material que comprende una fase

de dispersión sólida a temperatura ambiente, que tiene un comportamiento termoplástico, esta fase de dispersión incluye compuestos orgánicos de alto peso molecular, principalmente hidrocarburos con una cantidad de átomos de carbono mayor de 25. En esta fase de dispersión en general se pueden dispersar trazas de azufre, nitrógeno, oxígeno y metal tal como níquel, hierro y vanadio.

Por lo tanto, en uno de sus aspectos adicionales, la presente invención se refiere a un método para producir un conglomerado bituminoso adecuado para elaborar una pavimentación de carreteras con altos desempeños mecánicos, que comprende el paso de adicionar a estos agregados, bajo agitación y a una temperatura variable entre 130°C y 200°C, preferentemente entre 165°C y 185°C, más preferentemente entre 170°C y 180°C, una composición de aditivo como se describió anteriormente de acuerdo con la invención, así como que comprende betún y un agente de relleno.

De manera absolutamente ventajosa, la composición de aditivo de acuerdo con la presente invención, cuando se adiciona a conglomerados bituminosos para pavimentación de carreteras, permite obtener un pavimento de carreteras con altos desempeños mecánicos, tal como alta resistencia a la tracción, alta rigidez y alta resistencia a la fatiga, como se explica con más detalle con referencia a la descripción detallada.

De manera consistente, una superficie de carretera elaborada con un conglomerado bituminoso que comprende la composición de aditivo de acuerdo con la presente invención también tiene una escasa tendencia con relación al fenómeno de ahuellamiento, con respecto a una superficie de carretera elaborada con un conglomerado bituminoso que no comprende la composición de aditivo de acuerdo con la invención, como se explicará con más detalle con referencia a la descripción detallada.

Las altas propiedades mecánicas conferidas a la pavimentación de carreteras por la composición de aditivo mezclada en el conglomerado bituminoso, así como la disminución considerable del fenómeno de ahuellamiento, determinan un incremento sustancial de la vida de servicio de la pavimentación de carreteras, así como de la seguridad de la misma, cuando se compara con una pavimentación tradicional de carreteras.

De manera totalmente ventajosa, cuando un conglomerado bituminoso que comprende la composición de aditivo de acuerdo con la presente invención se usa al elaborar una pavimentación de carreteras, las capas de esta última (capa base, capa de aglutinante y capa de superficie) pueden tener un espesor menor, dada la misma vida de servicio, cuando se compara con una pavimentación de carreteras elaborada con un conglomerado bituminoso que no comprende la composición de aditivo de

acuerdo con la invención.

Por lo tanto, el uso de un conglomerado que comprende esta composición de aditivo conlleva no solo la necesidad de una cantidad más pequeña de agregados y betún, determinando
5 una disminución de emisiones de dióxido de carbono que de otro modo se presentarán en la producción/extracción y en el transporte de las materias primas mencionadas anteriormente, sino también un ahorro de energía sustancial (e impacto ambiental menor relacionado) debido a la producción más pequeña
10 de conglomerado bituminoso que, como se ilustra anteriormente, necesita manejos a temperaturas bastante altas.

Además, la composición de acuerdo con la presente invención es fácil y segura de manejar, debido a que está libre de polvos finos, que se pueden inhalar por los operadores que
15 la usan.

La composición de acuerdo con la presente invención se puede almacenar además durante períodos prolongados de tiempo, incluso durante muchos meses, sin riesgos de compactación, y mantiene sus propiedades de fluidez inalteradas con el paso
20 del tiempo, propiedades que son importantes cuando se adiciona esta composición al conglomerado bituminoso, a fin de asegurar su dosificación exacta y reproducible.

Las características y ventajas de la presente invención se destacarán adicionalmente por algunas modalidades de la
25 misma, que en lo sucesivo se exponen a manera de ilustración y

no de limitación.

Descripción Detallada de la Invención

De aquí en adelante son algunos ejemplos de composiciones de aditivo de acuerdo con la presente invención, que se han preparado y probado con resultados favorables con relación a su efecto de incrementar los desempeños mecánicos en la producción de conglomerado bituminoso. Finalmente, a continuación sigue un ejemplo comparativo, en donde se muestra una posible composición de aditivo, que no comprende grafeno y no de acuerdo con la presente invención.

Ejemplo 1

Mezcla de polietileno y polipropileno (70:30)	49.995%
polivinilbutiral	49.995%
grafeno virgen	0.01%

Ejemplo 2

Mezcla de polietileno y polipropileno (50:50)	49.95%
polivinilbutiral	49.95%
grafeno virgen	0.1%

Ejemplo 3

Mezcla de polietileno y polipropileno (60:40)	49.95%
polivinilbutiral	49.95%
grafeno reciclado	0.1%

Ejemplo 4

Mezcla de polietileno y polipropileno (30:70)	74.995%
polivinilbutiral	24.995%

	grafeno virgen	0.01%
--	----------------	-------

Ejemplo 5

	Mezcla de polietileno y polipropileno (50:50)	74.95%
--	---	--------

	polivinilbutiral	24.95%
--	------------------	--------

5	grafeno virgen	0.1%
---	----------------	------

Ejemplo 6

	Mezcla de polietileno y polipropileno (70:30)	79.995%
--	---	---------

	Polivinilbutiral	19.995%
--	------------------	---------

	grafeno virgen	0.01%
--	----------------	-------

10 **Ejemplo 7**

	Mezcla de polietileno y polipropileno (40:60)	79.95%
--	---	--------

	polivinilbutiral	19.95%
--	------------------	--------

	grafeno virgen	0.1%
--	----------------	------

Ejemplo 8

15	Mezcla de polietileno y polipropileno (70:30)	89.995%
----	---	---------

	polivinilbutiral	9.995%
--	------------------	--------

	grafeno virgen	0.01%
--	----------------	-------

Ejemplo 9

	Mezcla de polietileno y polipropileno (70:30)	89.95%
--	---	--------

20	polivinilbutiral	9.95%
----	------------------	-------

	grafeno virgen	0.1%
--	----------------	------

Ejemplo 10

	Mezcla de polietileno y polipropileno (60:40)	89.5%
--	---	-------

	polivinilbutiral	9.5%
--	------------------	------

25	grafeno virgen	1%
----	----------------	----

Ejemplo 11

Mezcla de polietileno y polipropileno (70:30)	89.990%
Polivinilbutiral	9.995%
grafeno virgen	0.005%

5 **Ejemplo 12 (ejemplo de referencia no de acuerdo con la invención)**

Mezcla de polietileno y polipropileno (70:30)	90.00%
polivinilbutiral	10.00%

10 Las composiciones de los Ejemplos 1-11 se prepararon al moler por separado la mezcla de polietileno y polipropileno, el polivinilbutiral y el grafeno, y entonces al mezclar los componentes molidos dentro de una mezcladora, obteniendo una mezcla homogénea con partículas que tienen un diámetro promedio de 2 mm.

15 La composición del Ejemplo 12 se preparó de la misma manera, comenzando solo a partir de la mezcla de polietileno y polipropileno y de polivinilbutiral.

Ejemplo 13

20 Usando la composición de acuerdo con el Ejemplo 8, se prepararon en el laboratorio dieciocho briquetas de conglomerado bituminoso con un diámetro de 100 mm y un espesor de aproximadamente 25 mm, que contienen la composición de acuerdo con las proporciones de los ingredientes indicados en la siguiente Tabla 2 (Conglomerado A). También dieciocho
25 briquetas de conglomerado bituminoso con la misma composición

pero que comprenden la composición de aditivo de acuerdo con el Ejemplo 12 (Conglomerado B), y dieciocho briquetas de conglomerado bituminoso que no comprenden la composición de aditivo de acuerdo con el Ejemplo 8, ni la composición de acuerdo con el Ejemplo 12 (Conglomerado C), así como nueve paneles de conglomerado bituminoso, tres para cada tipo de conglomerado A, B y C.

Tabla 2

10		Conglomerado bituminoso A, que contiene la composición del Ejemplo 8	Conglomerado bituminoso B, que contiene la composición del Ejemplo 12	Conglomerado bituminoso C, sin ningún aditivo
	Materiales	Partes por peso	Partes por peso	Partes por peso
15	Gravilla inerte 12/20	25	25	25
	Gravilla inerte 6/12	35	35	35
	Gravilla inerte 3/6	10	10	10
	Arena 0/4	25	25	25
20	Agente de relleno (CaCOa)	5	5	5
	Betún 70/100	4.5	4.5	4.5
	Composición de Aditivo	0.27	0.27	0
25	Total:	104.77	104.77	104.5

El conglomerado bituminoso se prepara en el laboratorio por medio del procedimiento que sigue, usando dispositivos que simulan, en función, maquinaria a mayor escala, usualmente usada en plantas para la producción de conglomerado bituminoso:

5 seleccionar una curva granulométrica, dependiendo de la pavimentación de carreteras que se desea elaborar con el conglomerado bituminoso actualmente bajo preparación ;

 seleccionar agregados de acuerdo con la curva granulométrica mencionada anteriormente, en el presente caso
10 los agregados de acuerdo con la Tabla 2, y llevar los agregados a una temperatura de 170-180°C dentro de una mezcladora;

 adicionar una cantidad apropiada de composición de aditivo, en el presente caso la composición de aditivo de acuerdo con el Ejemplo 8 en la cantidad expresada en la Tabla
15 2, entonces mezclar durante 40-60 segundos para obtener una mezcla;

 adicionar a la mezcla una cantidad apropiada de betún, en el presente caso la cantidad expresada en la Tabla 2, entonces mezclar durante al menos 20-30 segundos;

20 adicionar a la mezcla una cantidad apropiada de agente de relleno, en el presente caso la cantidad expresada en la Tabla 2, entonces mezclar durante al menos 5 minutos (como se proporciona por la ley normativa EN 12697-35), obteniendo una mezcla homogénea de conglomerado bituminoso.

25 En particular, la mezcla se mantiene a una temperatura

entre 170 y 180°C durante todos los pasos de procesamiento de la misma.

En el caso del conglomerado bituminoso B, en lugar de la composición del Ejemplo 8 de acuerdo con la invención, se
5 adiciona la composición del Ejemplo 12 no de acuerdo con la invención (que está libre de grafeno). En el caso del conglomerado bituminoso C, después del paso de calentar los agregados, sigue directamente un paso de adicionar betún.

La mezcla de conglomerado bituminoso obtenida de este
10 modo entonces se descarga de la mezcladora, se dosifica en una cantidad igual a aproximadamente 1210 g en recipientes y posteriormente se acondiciona en horno a una temperatura de 150°C durante aproximadamente 3 horas (para simular las condiciones de transporte).

15 El conglomerado bituminoso obtenido de este modo, después del paso de acondicionamiento en horno, entonces se inserta dentro de una plantilla. Entonces, a fin de obtener un porcentaje de huecos de aproximadamente 2.5%, se realiza una compactación por medio de compactador giratorio (de manera
20 alternativa al compactador giratorio es posible usar cualquier otro tipo de compactador adecuado para el propósito, por ejemplo, un compactador Marshall):

Presión de carga: 600 kPa;

Ángulo de giro: 1.25°;

25 Densidad límite: 2400 kg/m³.

Se elaboraron 18 briquetas para cada tipo de conglomerado bituminoso para realizar las pruebas mecánicas, simultáneamente se formaron tres paneles de 50 cm x 70 cm de tamaño, uno para cada tipo de conglomerado bituminoso.

5 Las dieciocho briquetas del conglomerado A, las dieciocho briquetas del conglomerado B y las dieciocho briquetas del conglomerado C, así como los paneles del conglomerado A, los paneles del conglomerado B y los paneles del conglomerado C se han colocado finalmente en cámaras
10 climáticas para el acondicionamiento apropiado para realizar las pruebas mecánicas.

Ejemplo 14 (determinación de la resistencia a la tracción)

Se usaron seis briquetas de conglomerado A, seis briquetas de conglomerado B y seis briquetas de conglomerado C
15 para realizar una prueba de resistencia a la tracción.

Cada biqueta se alojó respectivamente en una prensa mecánica de la canasta de prueba designada, entonces se realizó una prueba de resistencia a la tracción de acuerdo con la metodología UNI EN 12697-23.

20 La caracterización mecánica se presentó con la Resistencia a la Tensión Indirecta (ITS). La ITS simula el esfuerzo máximo generado por el paso de vehículos que se puede tolerar por el pavimento de carretera.

Los resultados de las pruebas individuales se muestran
25 en la Tabla 3, que sigue.

Tabla 3

Mezcla	ITS (MPa)
Conglomerado A	1.71
Conglomerado B	1.57
Conglomerado C	1.07
Mezcla (comparación)	Por ciento de cambio (%)
A versus B	+ 8.9
A versus C	+ 59.8
B versus C	+ 46.7

A partir de los datos reportados en la Tabla 3 es posible notar que la composición de aditivo de acuerdo con la presente invención permite incrementar la Resistencia a la Tracción Indirecta por aproximadamente 60% en un conglomerado bituminoso elaborado con él (conglomerado A) si se compara con un conglomerado bituminoso tradicional con betún como tal (conglomerado C), y por 9% si se compara con un conglomerado bituminoso que comprende una composición de aditivo sustancialmente idéntica con respecto a los contenidos de PBV y polietileno/propileno, pero que está libre de grafeno (conglomerado B). Un incremento de la Resistencia a la Tracción Indirecta implica, por lo tanto, una mayor resistencia del conglomerado bituminoso sometido a carga y, por lo tanto, la composición de aditivo de acuerdo con la presente invención permite formular un conglomerado bituminoso que permite construir una pavimentación de carreteras caracterizada por

una vida de servicio más larga. El incremento considerable de resistencia a la tracción directa obtenida con la composición de acuerdo con la presente invención, si se compara con una composición que es idéntica excepto por carecer de una cantidad
5 de grafeno de solo 0.01% en peso, se tiene que considerar totalmente sorprendente.

Ejemplo 15 (Determinación del módulo de rigidez)

Se usaron seis briquetas de conglomerado A, seis briquetas de conglomerado B y seis briquetas de conglomerado C
10 para realizar una prueba para determinar el módulo de rigidez, que se refiere a la capacidad de conglomerados bituminosos para propagar, en la superestructura, la carga ejercida en la superficie de carretera desde las áreas de rastro de los neumáticos de vehículo.

15 Cada biqueta se colocó respectivamente en un alojamiento designado de un sistema servoneumático para pruebas dinámicas, que a su vez se contuvo en una celda climática para control de temperatura; posteriormente, se realizó una prueba para la determinación del módulo de rigidez de acuerdo con la
20 metodología UNI EN 12697-26.

Las condiciones de prueba usadas para la determinación del módulo de rigidez fueron:

Temperatura: variable;

Tensión horizontal impuesta: 5 um;

25 Tiempo pico: 124 ms (frecuencia 2 Hz);

Coeficiente de Poisson: 0.35.

Los resultados de las pruebas individuales se muestran en la Tabla 4, que sigue.

Tabla 4

5	Mezcla	Rigidez de las a diferentes temperaturas de muestras (MPa)		
		T=5°C	T=20°C	T=40°C
10	Conglomerado A	21124	7809	3003
	Conglomerado B	20866	6685	2691
	Conglomerado C	10169	5711	1096
15	Mezcla (comparación)	Por ciento de cambio (%)		
	A versus B	+ 1.2%	+ 16.8%	+ 11.6%
	A versus C	+ 107.7%	+ 36.7%	+ 174.0%
	B versus C	+ 105.2%	+ 17.1%	+ 145.5%

15

Como es obvio, la composición de aditivo de acuerdo con la invención (Ejemplo 8), cuando se usa para la formulación de un conglomerado bituminoso, determina en este último un incremento sustancial del módulo de rigidez con respecto tanto al conglomerado tradicional (conglomerado C) como al conglomerado que comprende la composición de aditivo de acuerdo con el Ejemplo 12 que está libre de grafeno (conglomerado B). En este sentido, el conglomerado A muestra que se desempeña particularmente a temperaturas moderadamente altas (T=20°C; T=40°C). El incremento en el módulo de rigidez encontrado para

20

25

el conglomerado A con respecto al conglomerado B es aún mayor que el incremento ya considerable de la resistencia a la tracción encontrada en el ejemplo previo y, por lo tanto, aún más sorprendente.

5 **Ejemplo 16 (Determinación de la resistencia a la fatiga)**

Se usaron seis briquetas de conglomerado A, seis briquetas de conglomerado B y seis briquetas de conglomerado C para realizar la prueba de resistencia a la fatiga. El fallo debido a la fatiga de una pavimentación sucede debido a la repetición con el paso del tiempo de estados deformantes, inducidos por esfuerzos de tracción que se provocan tanto por el tráfico vehicular como por los ciclos estacionales y cambio de temperatura.

Cada briketa se colocó respectivamente en un alojamiento designado de un sistema servoneumático para pruebas dinámicas, que a su vez se contuvo en una celda climática para control de temperatura; posteriormente, se realizó una prueba para la determinación de la resistencia a la fatiga de acuerdo con la metodología UNI EN 12697-24.

20 Las condiciones de prueba para la determinación de la resistencia a la fatiga fueron:

Temperatura: 20°C;

Tensión horizontal impuesta: 300 kPa;

Tiempo pico: 248 ms;

25 Tiempo de reposo: 252 ms;

Frecuencia: 2 Hz;

Coeficiente de Poisson: 0.35;

Condición de fallo: 10% del módulo complejo inicial.

Los resultados de las pruebas individuales se muestran
 5 en la Tabla 5, que sigue.

Tabla 5

	Mezcla	Número de ciclos en la falla
	Conglomerado A	1,056,933
	Conglomerado B	473,167
	Conglomerado C	157,639
10	Mezcla (comparación)	Por ciento de cambio (%)
	A versus B	+ 123.4%
	A versus C	+ 570.5%
	B versus C	+ 200.2%

A partir de los datos de la Tabla 5, se puede entender
 15 que el conglomerado A, que comprende la composición de aditivo
 de acuerdo con la invención (Ejemplo 8), tiene una cantidad de
 ciclos de fatiga incrementada por 123% si se compara con el
 conglomerado bituminoso B, que comprende la composición de
 aditivo de referencia de acuerdo con el Ejemplo 12, que está
 20 libre de grafeno, e incrementada a 570% si se compara con un
 conglomerado bituminoso tradicional (conglomerado C). Esta es
 una evidencia adicional e impresionante de la mejora
 sorprendente de los desempeños mecánicos del conglomerado, en
 donde esta mejora se logra gracias a la presencia de grafeno,
 25 aunque se adiciona en una cantidad extremadamente baja (0.01%

del peso total de la composición de aditivo adicionada al conglomerado bituminoso).

Ejemplo 17 (Monitoreo del fenómeno de ahuellamiento)

Se usaron tres paneles de conglomerado A, tres paneles
5 de conglomerado B y tres paneles de conglomerado C para
realizar la prueba de monitoreo de ahuellamiento, que significa
un fenómeno de deformación longitudinal provocada por un
espesamiento por debajo del eje de carga con el movimiento
lateral posterior de la mezcla bituminosa durante el paso de
10 ruedas. Cada panel se colocó respectivamente en un alojamiento
designado en una máquina de ahuellamiento (máquina de rastro
de ruedas), que a su vez se contuvo en una celda climática para
control de temperatura; posteriormente, se realizó una prueba
para la determinación de la resistencia a la fatiga de acuerdo
15 con la metodología UNI EN 12697-22.

La prueba de laboratorio que permite simular este
fenómeno proporciona los siguientes resultados:

PROFUNDIDAD: indica físicamente que tan profundo es el
ahuellamiento (mayor profundidad significa menor resistencia);

20 PRD (Profundidad de Ahuellamiento Proporcional): indica
el porcentaje de ahuellamiento generado durante la prueba en
el ciclo predeterminado; al reducir este parámetro, se
disminuye la deformación y por lo tanto se incrementa la vida
de servicio de la pavimentación;

25 WTS (Pendiente de Rastro de Ruedas): indica la

velocidad a la cual el conglomerado bituminoso se deforma; al reducir este valor, se incrementa la resistencia a la deformación y se disminuye la deformación con el paso del tiempo, incrementando la vida de servicio de la pavimentación.

5 La condición de prueba impuesta para la determinación de la resistencia al ahuellamiento fue una temperatura de 60°C.

Los resultados de las pruebas individuales se muestran en la Tabla 6, que sigue.

Tabla 6

10		Profundidad de ahuellamiento a 5,000 ciclos (mm)	Profundidad de ahuellamiento a 10,000 ciclos (mm)	Aire de PRD 10,000 (%)	Aire de WTS (mm/1000 ciclos)
	Conglomerado A	0.43	0.48	0.8	0.009
	Conglomerado B	0.88	0.98	1.6	0.022
	Conglomerado C	1.39	1.55	2.5	0.025
15	Mezcla (comparación)	Por ciento de cambio (%)			
	A versus B	- 51.1%	- 51.0%	- 50.0%	- 59.1%
	A versus C	- 69.1%	- 69.0%	- 68.0%	- 64.0%
	B versus C	- 36.7%	- 36.8%	- 36.0%	- 12.0%

20 Las pruebas realizadas permiten destacar los altos desempeños del conglomerado A, que comprende la composición de aditivo de acuerdo con la presente invención, con una disminución considerable del fenómeno de ahuellamiento (-51%) si se compara con el conglomerado bituminoso B, con aumento adicional posterior de la vida de servicio de la pavimentación

25

y de la seguridad de carreteras, si se compara con la pavimentación tradicional (conglomerado C).

En este caso, también se puede notar que el grafeno contenido en la composición de aditivo de acuerdo con la presente invención, aunque este grafeno está presente en una cantidad definitivamente pequeña (0.01% en peso en la composición de acuerdo con el Ejemplo 8), determina un incremento considerable y sorprendente de resistencia al ahuellamiento.

Por último, todas las evidencias experimentales muestran que la composición de aditivo de acuerdo con la invención permite producir conglomerados bituminosos con desempeños incrementados en términos de propiedades mecánicas, determinando en consecuencia una extensión de la vida total de la pavimentación de carreteras elaborada con ellos. Esto determina no solo un ahorro económico (menos mantenimiento del pavimento de carretera), sino también una disminución considerable del impacto ambiental (posibilidad para elaborar una capa más delgada de conglomerado, si se compara con un conglomerado sin la composición de aditivo de acuerdo con la invención, dada la misma vida útil, con las consecuentes emisiones reducidas de dióxido de carbono debido a la producción del conglomerado mismo), así como un incremento de la seguridad total al usar la pavimentación de carretera en cuestión.