

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 676 446**

51 Int. Cl.:

E01C 7/18	(2006.01)
E01C 7/35	(2006.01)
E01C 11/00	(2006.01)
E01C 19/15	(2006.01)
E01C 23/03	(2006.01)
E01C 23/06	(2006.01)
E01C 23/14	(2006.01)
C08L 95/00	(2006.01)
C09J 195/00	(2006.01)
E02D 31/06	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.03.2014 PCT/US2014/026755**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2014 WO14151973**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.03.2014 E 14770592 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.05.2018 EP 2971362**

54 Título: **Sistema y método de reparación de pavimento**

30 Prioridad:

15.03.2013 US 201361794751 P
 15.03.2013 US 201361798090 P
 15.03.2013 US 201313842640
 15.03.2013 US 201361799515 P
 15.03.2013 US 201361799576 P
 15.03.2013 US 201361798469 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.07.2018

73 Titular/es:

COE, WILLIAM B. (100.0%)
P.O. Box 646
Wrightwood, CA 92397, US

72 Inventor/es:

COE, WILLIAM B.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 676 446 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema y método de reparación de pavimento

Campo de la invención

5 La invención se refiere a un sistema emisor para la reparación de un pavimento de asfalto de acuerdo con la reivindicación 1, y a un método para reparar un pavimento de asfalto de acuerdo con la reivindicación 5.

10 Se proporciona un sistema de reparación de pavimento que hace uso de cohesión y homogeneización regenerativas autónomas de fase sólida mediante tecnologías de oligopolimerización de asfalto líquido. El sistema es adecuado para uso en la reparación de pavimento de asfalto, incluyendo pavimento que presenta un alto grado de deterioro (según se manifiesta por la presencia de socavones, grietas, baches o desperfectos similares), así como de pavimento que ha sido sometido a una reparación previa y que puede comprender una cantidad sustancial de suciedad y otros residuos (por ejemplo pintura de calzada fragmentada u otros materiales de cubrición superficial dañados o alterados). Un sistema que hace uso de la homogeneización por oligopolimerización de asfalto líquido resulta adecuado para rejuvenecer o reparar el asfalto viejo, con lo que se mejoran las propiedades del material de pavimentación.

15 Antecedentes de la invención

20 Pueden encontrarse ejemplos de la técnica anterior en los documentos US 4.319.856 A y WO 8505388 A1. La reparación y el mantenimiento de la infraestructura civil, incluyendo carreteras y autopistas de los Estados Unidos, presentan grandes desafíos técnicos y financieros. La Asociación Americana de Oficiales de Transporte por Autopistas Estatales (AASHTO –“American Association of State Highway Transportation Officials”–) emitió un informe de conclusiones en 2010 en el que se afirmaba que es necesario gastar 160 mil millones de dólares al año para mantener la infraestructura; sin embargo, tan solo se están gastando 80 mil millones de dólares aproximadamente. El resultado es una infraestructura en rápido deterioro. Nuevos métodos de mantenimiento de las carreteras existentes y nuevos métodos de construcción de carreteras prolongarían la vida útil por el mismo presupuesto de dólares que se necesitan para satisfacer los desafíos que representa hace frente a la infraestructura en deterioro.

30 Solo en los Estados Unidos, existen aproximadamente 7,1 millones de kilómetros de vía central de hormigón asfáltico, de manera que una vía central comprende una superficie de pavimento de 7,31 m (24 pies) de anchura que tiene un carril en cada dirección. Las superficies de pavimentación de hormigón asfáltico se preparan, por lo común, calentando agregado a 204°C (400°F) y aplicando asfalto líquido (por ejemplo, rociándolo dentro de una amasadora o una mezcladora de tambor) para obtener una mezcla del 95% de agregado y el 5% de asfalto. Si se mantiene una temperatura de aproximadamente 177°C (350°F) para la mezcla, esta se considera asfalto de mezcla caliente y no se pega consigo mismo siempre y cuando se mantenga la temperatura. El asfalto de mezcla caliente se coloca, por lo común, en un camión hormigonera que lo acarrea hasta el lugar de trabajo, donde se coloca ya sea sobre una base de calzada de grava, ya sea sobre una superficie de calzada vieja que ha sido previamente preparada. Un aparato de pavimentación recibe el asfalto de mezcla caliente del camión hormigonera y lo esparce uniformemente a lo largo y ancho de la superficie de base, y, a medida que el material se enfría progresivamente por debajo de 212°C (250°F), es compactado con un rodillo. El asfalto de mezcla caliente es pisado con el rodillo hasta obtener una densidad uniforme, y, una vez transcurridos aproximadamente de uno a tres días de enfriamiento y envejecimiento, la superficie puede ser abierta al tráfico.

40 Después de que tal pavimento de asfalto haya permanecido en su lugar durante varios años, el pavimento envejece progresivamente. El agua se abre camino a través del pavimento. Este comienza a perder su integridad en la superficie, lo que hace que el agregado que se encuentra en la superficie del pavimento se pierda. La superficie del pavimento se hace más áspera o rugosa a medida que se pierde el agregado, y se empiezan a formar grietas. Las técnicas convencionales de reparación de pavimento, en esta etapa del proceso de deterioro, incluyen: verter asfalto de caucho caliente en el interior de las grietas, utilizar un parche frío (un asfalto de mezcla frío que puede ser aplicado a una superficie de calzada dañada, por ejemplo, colocarse dentro de un socavón, en condiciones de temperatura ambiental, usando herramientas manuales). Otra técnica para la reparación de pavimento que presenta daños mínimos implica la aplicación de una emulsión de asfalto líquido a la superficie del pavimento con el fin de proporcionar un cierto grado de estanqueidad al agua, a fin de ralentizar el proceso de envejecimiento, o, para superficies que presentan más deterioro, la aplicación de una delgada capa de un lodo de agregado y emulsión asfáltica sobre la parte superior del pavimento.

55 La preparación e instalación de pavimento de asfalto caliente implica trasegar agregado a través de un tubo caliente (por lo común, a aproximadamente 204°C (400°F)), en el que la humedad es eliminada para evitar que borbotee superficialmente cuando la roca entra en contacto con el asfalto fundido. El agregado es añadido al asfalto, de manera que contiene, opcionalmente, un polímero de caucho. El agregado es enviado a través de un molino que tiene palas de alta velocidad que hacen voltear el agregado a través de un rociado de asfalto. La mezcla resultante de agregado con asfalto recocido comprende, por lo común, el 95% de agregado y el 5% de asfalto (opcionalmente, con polímero de caucho). La mezcla sale del molino a aproximadamente 177°C (350°F) y es transportada al interior

de camiones en espera (por ejemplo, un camión volquete), que son conducidos hasta el lugar de trabajo. Se deposita nuevo pavimento sobre una base de tierra cubierta con grava que se ha aplanado y compactado. Por lo común, la nueva carretera no se deposita en una única pasada, sino que, en lugar de ello, se deposita un primer alzado de entre 5 cm y 7,6 cm (entre 2 y 3 pulgadas) de asfalto caliente y suelto, y se compacta parcialmente, y, a continuación, se deposita un segundo alzado sobre el primero, y se compacta. La temperatura del pavimento de hormigón asfáltico es, en este estadio, por lo común, aproximadamente 60°C (140°F). Pueden añadirse alzados adicionales según se desee, por ejemplo, hasta una profundidad de aproximadamente 30,5 cm (12 pulgadas), dependiendo de las condiciones de uso esperadas para la carretera (transporte pesado o ligero, velocidad del tráfico, tiempo de vida deseado). No se pone, por lo común, ningún imprimador o material adicional entre las capas de alzado en una construcción nueva, ya que el pavimento fresco exhibe una buena adherencia consigno mismo en la construcción nueva. El diseño de una construcción nueva no requiere nunca, por lo común, ningún imprimador o material adicional entre los alzados subsiguientes.

Transcurridos aproximadamente cincuenta años de exposición a los elementos, se hace prohibitivo en cuanto a costes tratar de mantener el pavimento de asfalto mediante técnicas convencionales de parcheado, impermeabilización y enlodado en frío. La solución convencional, en este estadio de deterioro del pavimento, implica, por lo común, la preparación de la superficie con daños y la aplicación de una capa de asfalto de mezcla caliente. Para el pavimento que está demasiado deteriorado para la preparación para aplicación y la aplicación de una capa de asfalto de mezcla caliente, puede emplearse un procedimiento de reciclado in situ y en frío. En un reciclado in situ y en frío, por lo común los 5 cm-12,7 cm (entre 2 y 5 pulgadas) más superiores de la superficie de calzada dañada se reducen por pulverización a un tamaño de agregado específico y se mezclan con una emulsión asfáltica, tras lo cual se vuelven a instalar para pavimentar la misma calzada de la que se ha extraído el material de pavimentación viejo.

El pavimento ya existente (de asfalto u hormigón) se repara, por lo común, utilizando un recubrimiento, por ejemplo, una mezcla de agregado y asfalto tal como se ha descrito anteriormente para la construcción de una calzada nueva. En el caso de repavimentación por encima de la parte superior de hormigón rígido, se aplica, por lo común, algún tipo de imprimador, por ejemplo, como un rociamiento, con el resultado de la aplicación de aproximadamente 37,9 litros (10 galones) de imprimador por cada 92,9 metros cuadrados (1.000 pies cuadrados) de pavimento. El imprimador puede consistir en una emulsión asfáltica que proporcione una superficie pegajosa para el nuevo recubrimiento. Puede aplicarse una única capa de recubrimiento, o bien múltiples capas, por lo común, dos o más.

Las grietas y las tensiones de un lecho de calzada subyacente reparado se imprimirán rápidamente en los nuevos recubrimientos de material de pavimentación, debido a la maleabilidad del asfalto nuevo bajo las cargas de rodadura. A medida que el lecho de calzada subyacente experimenta expansión y contracción bajo las condiciones ambientales, las grietas pueden ser transmitidas hacia arriba hasta tanto como 7,6 cm (3 pulgadas) de asfalto superpuesto. Un método convencional para conseguir una cierta resistencia a la transmisión de los defectos antiguos del lecho de calzada subyacente consiste en dejar un revestimiento de adherencia caliente de asfalto, depositar una malla de polipropileno (similar en aspecto al polipropileno unido por hilado, por lo común de entre 0,64 cm y 1,27 cm (entre ¼ y ½ pulgada) de espesor, disponible como Petromat® en la Nilex, Inc., de Centennial (CO [Colorado]), sobre el revestimiento de adherencia caliente de asfalto, a lo que sigue una capa de nuevo hormigón asfáltico caliente que es entonces compactado sobre la superficie existente. Esto contendrá la rapidez de transmisión de las grietas a una magnitud limitada, de tal manera que, en lugar de producirse de 6 meses a 2 años tras la reparación, las grietas no se transmiten durante entre 1 año y 3 años después de la reparación. Este fenómeno de transmisión por parte de los defectos en un lecho de calzada envejecido existente hace que se manifiesten defectos superficiales en un nuevo recubrimiento de pavimento aproximadamente tres veces más pronto que lo que es común en un pavimento de hormigón asfáltico nuevo colocado sobre una base de tierra y grava compactada, como es la práctica en la construcción nueva.

Los mecanismos de deterioro de las carreteras nuevas se han venido investigando a lo largo de un ciclo de vida de 20 años. Los recubrimientos son aplicados, por lo común, entre el duodécimo y el decimoquinto año. Por lo común, no se observa deterioro significativo durante los cinco primeros años de una carretera bien construida. Dentro de los cinco primeros años, no aparecen, por lo común, grietas ni socavones, a menos que se produzca un daño importante al pavimento o se pierda material por debajo del pavimento. Transcurridos los cinco primeros años, se observan síntomas físicos de deterioro, incluyendo grietas laterales y longitudinales debidas al encogimiento de la masa del pavimento como consecuencia de la pérdida de agente aglomerante y la fragilización del asfalto. Las grietas dan como resultado, en última instancia, la generación de un socavón. El deshilachado es un mecanismo en virtud del cual los efectos de la exposición al agua y al sol rompen y deshacen la adhesión entre la roca de la superficie superior del pavimento y el agregado subyacente, de tal manera que pequeñas rocas y, más adelante, rocas más grandes se sueltan del pavimento. Una fractura por tensión es cuando el pavimento, por una u otra razón, puede no haberse hecho lo bastante grueso para soportar la exposición a una carga extremadamente pesada, la humedad o una compactación deficiente por debajo. Cuando se combinan el encogimiento del propio asfalto a medida que va experimentando ciclos de calentamiento y enfriamiento, y la aplicación de tensión por oxidación, se pueden tener también como resultado fracturas por tensión. Las fracturas por tensión se caracterizan por extenderse en diferentes direcciones (a diferencia de la fracturación lateral o longitudinal, según se ha descrito en lo anterior).

La textura macroscópica de un pavimento se refiere a la rugosidad visible de la superficie del pavimento en su

conjunto. La función principal de la textura macroscópica es ayudar a mantener una adecuada resistencia al deslizamiento a los vehículos que se desplazan a altas velocidades. También proporciona caminos para la evacuación del agua, lo que ayuda a evitar que las ruedas de los vehículos de motor experimenten hidroplaneamiento. Esto puede conseguirse, opcionalmente, cortando o formando unas acanaladuras en los pavimentos nuevos o ya existentes. Las texturas microscópicas se refieren a la rugosidad de la superficie de las piedras individuales existentes en el seno del pavimento de hormigón asfáltico. Es la textura fina la que se da en las lascas y otras partes expuestas de la superficie. Para el pavimento de hormigón, se trata habitualmente de la arena y agregados finos que están presentes en la capa superficial, y, para el asfalto, está habitualmente asociada con el tipo de agregados utilizados. La textura microscópica crea las propiedades de rozamiento para los vehículos que se desplazan a bajas velocidades. La naturaleza resistente al deslizamiento en mojado de una calzada depende de la interacción entre el neumático y la textura macroscópica y la textura microscópica, combinadas, de la superficie de la calzada.

La reparación convencional de las fisuras y el deshilachado poco profundos de la superficie hace uso de varios métodos. Los resaturantes son materiales que ablandan el asfalto viejo. Se mezclan, por lo común, con una emulsión y se rocían sobre la superficie del pavimento viejo. El material penetra en los 0,51 mm o 0,76 mm más superiores del pavimento y ablanda el asfalto, impartándole flexibilidad. Puede también rociarse directamente asfalto caliente fluidificado térmicamente sobre la superficie, lo que lo endurece y le procura impermeabilización al agua. Un sellador emulsionado se rocía, por lo común, sobre la superficie, y puede proporcionársele un agente secante de arena para mejorar el coeficiente de rozamiento. En un sellado con fragmentos o lascas, puede también rociarse una emulsión cauchutada sobre el pavimento envejecido, y la piedra es entonces difundida en el seno de la emulsión cauchutada, que se endurece seguidamente, ligando la piedra. El sellado con lodo emplea una mezcla fría de agregado / asfalto preparada en una amasadora, y la deposita sobre la superficie del pavimento envejecido, pero esta se aplica en una capa mucho más delgada, por ejemplo, de entre 0,64 cm y 1,91 cm (entre 0,25 y 0,75 pulgadas). Una vez reparada la superficie del pavimento, pueden volver a pintarse cualesquiera marcas de seguridad.

La Administración Federal de Autopistas ha llevado a cabo, por medio de la Academia Nacional de Ciencias, una investigación sobre la durabilidad del pavimento. En 1984 se inició un programa de pavimentación a largo plazo (LTPP –“long term paving program”–) de 20 años, en un intento de comprender los mecanismos implicados en el fallo de la pavimentación. Al término del programa de 20 años y tras cinco años de análisis de los datos, se han desarrollado mejores modos de medir el fallo del pavimento, de los que el más notable es el sistema de clasificación del Programa de Investigación Estratégica de Carreteras (SHRP –“Strategic Highway Research Program”–). El sistema del SHRP puede ser utilizado para determinar las calidades físicas de un producto de asfalto y su potencial para un servicio a largo plazo. Subsiguientemente, se desarrollaron pruebas mecánicas para determinar cuándo disminuían la ductilidad y la flexibilidad del pavimento, lo que está correlacionado con el final de su vida útil, al igual que se estudiaron los cambios químicos en el propio asfalto a lo largo del tiempo. Se descubrió que la presencia de grupos carbonilo y de sulfóxidos que se generan a lo largo de la vida en la sección transversal del pavimento está relacionada con la fragilización del asfalto. Este descubrimiento permite en la actualidad la predicción de su vida útil. Pueden también emplearse cámaras de creación acelerada de condiciones meteorológicas para determinar la velocidad de formación de estos grupos carbonilo *telltale* y sulfóxidos en un nuevo sistema aglomerante, combinación de aglomerante / agregado u otro material de pavimentación mediante el cual predecir una vida útil esperada. En términos de la química del deterioro, los datos de los estudios indican que el pavimento de asfalto falla debido a que se hace quebradizo. La fragilización conduce a la pérdida de masa, lo que conlleva un encogimiento que produce grietas. Las grietas se convierten en socavones, el pavimento deja de flexionarse y el agregado se desprende.

El deterioro del agente aglomerante del asfalto está generalmente asociado con el asfalto situado más allá de las 100 primeras micras que cubren la superficie de roca. Se encontró, por parte del estudio de LTDP a 20 años, que una capa de asfalto sobre agregado a profundidades comprendidas dentro de 100 micras de la interfaz asfalto / roca no experimentaba la presencia de los sulfóxidos y grupos carbonilo que están asociados con la fragilización. En consecuencia, las propiedades ese asfalto eran similares a las de asfalto virgen colocado por primera vez sobre la roca. Si bien no es la intención vincularse a ninguna teoría, se cree que la unión fuerte del asfalto dentro de las primeras 100 micras de la superficie de roca exhibía un alto grado de intimidad o pretura. Esta pretura impide el movimiento de los oxidantes socavadores hacia el interior de la estructura de asfalto, con lo que se minimiza el deterioro. De acuerdo con ello, se cree que, en un material de pavimentación envejecido que tiene un promedio del 95% de agregado y el 5% de asfalto, una capa de 100 micras de buen asfalto rodea cada partícula de agregado, con asfalto fragilizado entre medias. Es esta «zona de fragilización», en la que la ductilidad se pierde y se produce el fallo. Intersticios de aire existentes en la sección transversal del pavimento pueden permitir que el agua y el aire ganen acceso a la interfaz entre el asfalto y la roca. A lo largo de un cierto periodo de tiempo, el asfalto pasa de ser flexible a hacerse quebradizo. Los procesos químicos asociados con la fragilización están relacionados con la formación de sulfóxido o grupos hidroxilo, y, por lo común, se produce la pérdida de un átomo de hidrógeno en el carbono (oxidación), lo que provoca que las estructuras moleculares clave se hagan más cortas y, por tanto, menos flexibles. Una vez que esto ocurre, el pavimento se vuelve inflexible, se abren grietas, el pavimento pierde masa, y las cargas de rodadura quiebran el pavimento, provocando el agrietamiento, los socavones, la apertura, el deshilachado y el agrietamiento de bloques, fenómeno, cada uno de los cuales, que da como resultado la pérdida de

integridad del pavimento.

Los métodos convencionales para la reparación de defectos superficiales, que incluyen agentes rejuvenecedores y selladores emulsionados, no exhiben, por lo común, una amplitud de vida deseable. La reparación convencional más duradera, un sellado con lodo o un sellado con lascas, puede durar únicamente 7 u 8 años. Un análisis de los mecanismos de fallo del pavimento proporciona una explicación para la escasa amplitud de vida observada para pavimento de asfalto nuevo y sus subsiguientes reparaciones. El factor principal es que las reparaciones no ponen remedio a la fragilización subyacente del agente aglomerante del asfalto en profundidad, en la sección transversal del pavimento. La fragilización resulta de la escisión de las cadenas poliméricas presentes en el asfalto bajo la influencia de los radicales libres asociados principalmente con el agua. El agua penetra en el pavimento, y la luz solar y el tráfico sobre la superficie del pavimento procura la energía para la reacción con el oxígeno y con otros componentes del pavimento, lo que da lugar a productos de reacción de sulfóxido y carboxilato y a una reducción de la longitud de las cadenas poliméricas a través de su reacción con los radicales libres resultantes. La pérdida de peso molecular de los polímeros tiene su incidencia en la capacidad del pavimento para estirarse y flexionarse. Un mecanismo de fallo secundario es la pérdida de la propia roca como consecuencia del ataque hidrolítico de la interfaz asfalto-roca. Las rocas comprenden, por lo común, óxidos metálicos (por ejemplo, óxido de calcio, dióxido de silicio, óxido de litio, óxido de potasio, óxido de sodio). Pueden formarse grupos hidróxido con la exposición al agua, de lo que resultan reacciones oxidativas que impiden la adhesión del asfalto a la superficie de la roca, un proceso al que se hace referencia como descascarillado.

La pérdida de impermeabilidad es un mecanismo que se produce, por lo común, de arriba abajo. El asfalto se quiebra por la exposición a cargas pesadas y al sol, lo que hace que el agua penetre entre el asfalto y la roca. El asfalto puede perder su hidrofobia, de tal manera que los componentes parafínicos se deshacen en componentes más hidrófilos, los cuales, a su vez, aceleran el proceso de absorción del agua. Se produce un deshilachado, de lo que resulta una pérdida de su textura macroscópica. En última instancia, la textura microscópica de la superficie se pierde como consecuencia de la abrasión producida por los neumáticos a lo largo y ancho de la superficie, lo que elimina por frotamiento el asfalto y pule la superficie de la roca, con lo que el coeficiente de rozamiento cae hasta valores inaceptables. Por lo común, un pavimento completamente nuevo tendrá un coeficiente de rozamiento de entre 0,6 y 0,7. Con el tiempo, la pérdida de textura microscópica y, en última instancia, de textura macroscópica tiene como resultado que el coeficiente de rozamiento cae por debajo de aproximadamente 0,35, punto en el cual el pavimento se hace intrínsecamente inseguro en términos de resistencia de guiado en presencia de agua. Incluso si una superficie de pavimento no tiene deshilachado o agrietamiento, aún puede ser insegura para la conducción como consecuencia de la pérdida de una textura superficial adecuada. Los mecanismos de textura microscópica y de textura macroscópica funcionan a velocidades diferentes. Por lo común, hasta aproximadamente 72,4 km/h (aproximadamente 45 mph), la textura microscópica controla la distancia de detención. Entre 72,4 km/h y 80,4 km/h (entre 45 y 50 mph), la textura macroscópica comienza a tener un mayor efecto en la distancia de detención, y por encima de 80,4 km/h (50 mph), la textura macroscópica es el principal factor determinante de la distancia de detención.

De acuerdo con ello, existen una variedad de técnicas de mantenimiento que pueden emplearse en pavimento de asfalto dañado, algunas de ellas más exitosas que otras a la hora de preservar y prolongar la vida útil del pavimento. Se conoce que, para pavimento que es mantenido periódica y apropiadamente, y reparado en los estadios tempranos de su deterioro, la vida útil típica puede prolongarse hasta 19 o 20 años. Sin embargo, en la actual coyuntura económica, la solución convencional para el mantenimiento de una calzada consiste en arreglar, en primer lugar, el pavimento transitado con mayor frecuencia, y seguidamente reparar, en la medida en que lo permitan los presupuestos, progresivamente el pavimento que está en mejores condiciones, de tal manera que se observa, por lo común, una vida útil cercana a 12 o 13 años.

45 **Compendio de la invención**

Es deseable un método para reparar pavimento asfáltico, tal como pavimento asfáltico cuarteado a modo de «piel de cocodrilo», que sea tanto barato en comparación con las técnicas convencionales, como también, al mismo tiempo, procurador de una superficie de pavimentación que tenga una vida útil igualmente larga o más larga en comparación con el pavimento asfáltico reparado por técnicas convencionales. Se proporciona también un método para rejuvenecer asfalto envejecido con el fin de llevar sus propiedades de pavimentación más ceca de las del pavimento virgen.

Son deseables una composición y un método para reparar pavimento que exhiban una amplitud de vida mejorada en comparación con los métodos convencionales. Tal composición puede dar lugar a una unión mejorada entre el asfalto y la roca. Semejante composición puede también impartir una resistencia mejorada a la tensión y a la cizalladura mecánicas (por ejemplo, originadas por cargas de rodadura que actúan según un ángulo de incidencia). Las composiciones se han configurado para modular los mecanismos de fallo del pavimento, al objeto de conferir una impermeabilización, mantenimiento de la textura microscópica, mantenimiento de la textura macroscópica, resistencia a la fragilización, resistencia a la exfoliación y resistencia a la tensión mecánica mejorados. Estas propiedades mejoradas prolongan en gran medida el tiempo de vida del pavimento más allá de lo que se observaría para un pavimento nuevo convencional o para un método de reparación convencional de pavimento ya existente.

- Además de composiciones de pavimento, se proporcionan también revestimientos y pinturas que comprenden elastómeros curados con radiación del orden de terahercios, que exhiben propiedades superiores de tiempo de vida útil, durabilidad, resistencia y flexibilidad. Se proporcionan materiales de construcción y revestimientos para uso en puentes y cimientos de construcción, así como métodos para fabricar los mismos. Se proporcionan materiales configurados para resistir fuerzas balísticas, así como métodos para fabricarlos. Se proporcionan revestimientos y materiales de construcción ignífugos, así como métodos para fabricarlos. Se proporcionan también agentes aglomerantes y elastómeros sustancialmente como se describe en esta memoria, un aparato emisor sustancialmente como se describe en la presente memoria, un sistema para reparar pavimento sustancialmente como se describe en esta memoria, así como métodos relacionados. En un primer aspecto generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificadas en la presente memoria), se proporciona un método para reparar asfalto que comprende: hacer pasar un emisor sobre el asfalto, de tal manera que el emisor radia energía del orden de terahercios al seno del asfalto, hasta una profundidad de al menos 5,1 cm (2 pulgadas), de tal modo que la diferencia de temperaturas a través de los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores de asfalto es 38°C (100°F) o menos, de manera que la temperatura más alta en los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores del asfalto no excede de 149°C (300°F), y de tal forma que la temperatura mínima en los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores del asfalto es al menos 93°C (200°F), por lo que los huecos e intersticios existentes en el asfalto son alterados sin que se produzca deshidrogenación del asfalto, y por lo cual los oligómeros presentes en el asfalto se enlazan entre sí para formar cadenas poliméricas más largas, gracias a lo que se mejora la ductilidad del asfalto.
- 5 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), el asfalto se da en la forma de pavimento asfáltico.
- 10 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), el pavimento asfáltico es pavimento asfáltico dañado, y el método comprende, de manera adicional, antes de hacer pasar un emisor sobre el asfalto: preparar una superficie del pavimento asfáltico dañado, que comprende asfalto envejecido, rellenando las desviaciones con respecto a un plano superficial uniforme con agregado seco y compactando el agregado seco; y aplicando una emulsión asfáltica reactiva a la superficie preparada, con lo que la emulsión reactiva penetra en las grietas y las fisuras del pavimento asfáltico dañado y en el interior de las zonas rellenas con el agregado seco, de tal manera que la emulsión asfáltica reactiva comprende caucho de butilo, un asfalto modificado de dieno y una resina biológica endurecida medioambientalmente, y de tal modo que la emulsión asfáltica reactiva contiene menos del 1% de perfluorocarburos como componentes volátiles.
- 15 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), el método comprende, adicionalmente, retirar los reflectores, las impresiones termoplásticas y los dispositivos de seguridad mediante su retirada mecánica, antes del relleno de las desviaciones.
- 20 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), la emulsión asfáltica reactiva comprende, de manera adicional, un poliisobutileno de peso molecular de medio a alto.
- 25 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), el agregado seco se reviste previamente con una composición de elastómero, y, en ella, la emulsión asfáltica reactiva es al menos parcialmente curada con el fin de obtener un asfalto seco revestido de libre fluencia.
- 30 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), la diferencia de temperaturas a través de los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores de pavimento asfáltico es 10°C (50°F) o menos.
- 35 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), la energía del orden de terahercios comprende longitudes de onda de entre 1 nm y 5 mm.
- 40 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), la energía del orden de terahercios comprende longitudes de onda de entre 1 mm y 5 mm.
- 45 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), la energía del orden de terahercios comprende longitudes de onda de entre 2 mm y 5 mm.
- 50 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), el pavimento asfáltico comprende roca granítica y se expone, adicionalmente, a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de pico de
- 55

entre 3.000 nm y 5.000 nm.

5 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), el pavimento asfáltico comprende arena y se expone, adicionalmente, a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de pico de 3.000 nm o de entre 5.000 nm y 8.000 nm.

En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), el pavimento asfáltico comprende piedra caliza y se expone, de manera adicional, a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de pico de entre 3.000 nm y 4.000 nm.

10 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), el pavimento asfáltico comprende asfalto de malteno y se expone, adicionalmente, a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de pico de entre 2.000 nm y 8.000 nm.

15 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), el pavimento asfáltico comprende asfalto de asfalteno y se expone, adicionalmente, a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de pico de entre 2.000 nm y 4.000 nm.

20 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), el emisor es un panel que comprende un alambre de serpentina y un material micáceo a través del cual pasa la energía generada por el emisor, y, en ella, el emisor produce energía con una densidad de potencia de entre 0,465 W/cm² y 2,325 W/cm² (entre 3 W/in² y 15 W/in²).

25 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), los oligómeros poseen entre 2 y 150 unidades repetidas.

30 En una realización del primer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), el método comprende, adicionalmente, después de hacer pasar un emisor sobre el asfalto: dejar que el pavimento se enfríe por debajo de 88°C (190°F); y aplicar un rodillo de compactación al pavimento asfáltico para minimizar los huecos e irregularidades superficiales, y, en ella, el asfalto está a una temperatura no inferior a 66°C (150°F), de tal manera que la densidad del pavimento asfáltico compactado es similar a la del pavimento asfáltico virgen.

35 En un segundo aspecto generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), se proporciona un sistema emisor para reparar pavimento asfáltico, el cual comprende: un bastidor estructural y uno o más paneles emisores situados dentro del bastidor estructural y que apuntan hacia abajo, de tal manera que el bastidor, de metal, está aislado con una capa de cerámica de alta densidad, de forma que cada panel emisor comprende un alambre de serpentina colocado entre la cerámica de alta densidad y una lámina de material micáceo que exhibe birrefringencia biaxial, o en dos ejes, de modo que cada panel emisor se ha configurado de una manera tal, que, durante su uso, la energía generada por cada panel emisor pasa a través de la lámina de material micáceo e incide en un pavimento de asfalto, de forma que cada panel emisor se ha configurado para producir energía con una densidad de potencia de entre 0,465 w/cm² y 2,325 W/cm² (entre 3 W/in² y 15 W/in²).

45 En una realización del segundo aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), el bastidor estructural es un bastidor de metal que comprende una o más vigas fijadas a una o más ruedas, y, en ella, el bastidor estructural se ha configurado para impedir el doblamiento, el hundimiento o el retorcimiento, incluso cuando se atraviesa un terreno irregular.

50 En una realización del segundo aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), el sistema emisor comprende, adicionalmente, una fuente de energía configurada para suministrar energía eléctrica a los uno o más paneles emisores, de tal manera que la fuente de energía es un generador portátil.

En una realización del segundo aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), el generador portátil es un generador diésel configurado para entregar al menos 250 kW.

55 En una realización del segundo aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), el sistema emisor comprende, de manera adicional, un mecanismo de interrupción de potencia y un sistema de colocación.

- 5 En una realización del segundo aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), el sistema emisor comprende, de manera adicional, un dispositivo de distribución de potencia dispuesto en al menos parte de los uno o más paneles emisores y en al menos parte del bastidor, de tal manera que el dispositivo de distribución de potencia comprende uno o más disruptores de circuito u otros mecanismos de interrupción de potencia.
- En una realización del segundo aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), el sistema se ha dimensionado de manera que irradie una anchura de carril estándar de pavimento asfáltico de una única pasada.
- 10 En una realización del segundo aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), cada panel emisor tiene la forma de un cuadrado o un rectángulo que tiene dimensiones de aproximadamente 30,5 cm (12 pulgadas) por aproximadamente 61 cm (24 pulgadas), y, en ella, los paneles emisores se disponen en un conjunto geoméricamente ordenado en el cual cada panel emisor contacta a tope con un panel emisor adyacente, y de tal manera que cada panel emisor está conectado en paralelo o en serie con otros paneles emisores.
- 15 En una realización del segundo aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), el conjunto geoméricamente ordenado es de 3,66 m (12 pies) de ancho, 2,43 m (8 pies) de largo y aproximadamente 0,61 m (2 pies) de alto.
- 20 En una realización del segundo aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), el sistema emisor comprende, adicionalmente, un vehículo configurado para tirar del conjunto geoméricamente ordenado y de la fuente de energía sobre un pavimento de asfalto.
- 25 En un tercer aspecto generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), se proporciona un método para reparar un pavimento asfáltico, el cual comprende hacer pasar el sistema emisor del segundo aspecto por encima de un pavimento asfáltico que se necesita reparar, de tal manera que el sistema emisor radia energía del orden de terahercios al seno del pavimento asfáltico hasta una profundidad de al menos 5 cm (2 pulgadas), de forma que la diferencia de temperaturas a través de los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores del pavimento asfáltico es 38°C (100°F) o menos, de tal modo que la temperatura más elevada en los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores del pavimento asfáltico no excede de 149°C (300°F), y de tal manera que la temperatura mínima en los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores del pavimento asfáltico es al menos 93°C (200°F), por lo que los huecos e intersticios existentes en el pavimento asfáltico son alterados sin que se produzca una deshidrogenación del asfalto presente en el pavimento asfáltico, y por lo cual los oligómeros presentes en el asfalto del pavimento asfáltico se enlazan entre sí para formar cadenas poliméricas más largas, con lo que se mejora la ductilidad del asfalto.
- 30
- 35 En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), el pavimento asfáltico es pavimento asfáltico dañado, y el método comprende, adicionalmente, antes de hacer pasar un emisor por encima del asfalto: preparar una superficie del pavimento asfáltico dañado que comprende asfalto envejecido, rellenando las desviaciones que hay con respecto a un plano superficial uniforme con agregado seco, y compactando el agregado seco; y aplicando una emulsión asfáltica reactiva a la superficie preparada, por lo que la emulsión reactiva penetra en las grietas y fisuras existentes en el pavimento asfáltico dañado y dentro de las zonas rellenas con el agregado seco, de tal manera que la emulsión asfáltica reactiva comprende caucho de butilo, un asfalto modificado de dieno, y una resina biológica endurecida medioambientalmente, y de tal modo que la emulsión asfáltica reactiva contiene menos del 1% de perfluorocarburos como componentes volátiles.
- 40
- 45 En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), el método comprende, de manera adicional, retirar los reflectores, las impresiones termoplásticas y los dispositivos de seguridad de la carretera mediante su retirada mecánica antes de rellenar las desviaciones.
- 50 En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), la emulsión asfáltica reactiva comprende, adicionalmente, un poliisobuteno ramificado o no ramificado de peso molecular entre 10.000 y 100.000, y un estireno-butadieno-estireno ramificado o no ramificado de peso molecular entre 10.000 y 100.000.
- 55 En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), el agregado seco se reviste previamente con una composición de elastómero, y, en ella, la emulsión asfáltica reactiva es al menos parcialmente curada con el fin de dar lugar a un asfalto seco revestido de libre fluencia.
- En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), la diferencia de temperaturas

a través de los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores del pavimento asfáltico es 38°C (100°F) o menos.

En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), la energía del orden de terahercios comprende longitudes de onda entre 1 nm y 5 mm.

- 5 En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), la energía del orden de terahercios comprende longitudes de onda entre 2 nm y 5 mm.

10 En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), los oligómeros poseen de 2 a 150 unidades repetidas.

15 En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), el método comprende, adicionalmente, después de hacer pasar el sistema emisor por encima del asfalto: dejar enfriar el pavimento hasta por debajo de 116°C (240°F) y aplicar un rodillo compactador al pavimento asfáltico con el fin de minimizar los huecos e irregularidades superficiales, y, en él, el asfalto se encuentra a una temperatura no inferior a 66°C (150°F), por lo que la densidad del pavimento asfáltico compactado es similar a la del pavimento asfáltico virgen.

20 En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), la etapa de aplicar una emulsión asfáltica reactiva comprende, adicionalmente, calentar el pavimento asfáltico, de tal manera que el pavimento asfáltico comprende roca granítica y es expuesto a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de pico de entre 3.000 nm y 5.000 nm, a fin de calentar el pavimento asfáltico.

25 En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), la etapa de aplicar una emulsión asfáltica reactiva comprende, adicionalmente, calentar el pavimento asfáltico, de tal manera que el pavimento asfáltico comprende arena y se expone, adicionalmente, a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de pico de 3.000 nm o de entre 5.000 nm y 8.000 nm, a fin de calentar el pavimento asfáltico.

30 En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), la etapa de aplicar una emulsión asfáltica reactiva comprende, de manera adicional, calentar el pavimento asfáltico; y, en ella, el pavimento asfáltico comprende piedra caliza y se expone a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de pico de entre 3.000 nm y 4.000 nm con el fin de calentar el pavimento asfáltico.

35 En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (esto es, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en la presente memoria), la etapa de aplicar una emulsión asfáltica reactiva comprende, de manera adicional, calentar el pavimento asfáltico; de tal manera que el pavimento asfáltico comprende asfalto de malteno y se expone a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de pico de entre 1.000 nm y 10.000 nm, al objeto de calentar el pavimento asfáltico.

40 En una realización del tercer aspecto, que es generalmente aplicable (es decir, combinable de forma independiente con cualquiera de los aspectos o realizaciones identificados en esta memoria), la etapa de aplicar una emulsión asfáltica reactiva comprende, adicionalmente, calentar el pavimento asfáltico; y, en ella, el pavimento asfáltico comprende asfalto de asfalteno y se expone a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de pico de entre 1.000 nm y 4.000 nm, con el fin de calentar el pavimento asfáltico.

45 Cualquiera de las características de una realización de los primer a tercer aspectos es aplicable a todos los aspectos y realizaciones identificados en esta memoria. Es más, cualquiera de las características de una realización de los primer a tercer aspectos es combinable de forma independiente, parcial o totalmente con otras realizaciones descritas en esta memoria, de cualquier modo; por ejemplo, una, dos o tres o más realizaciones pueden ser combinables en su totalidad o en parte. Por otro lado, cualquiera de las características de una realización de los primer a tercer aspectos puede hacerse opcional para otros aspectos o realizaciones. Cualquier aspecto o realización de un método puede llevarse a cabo por un sistema o aparato de otro aspecto o realización, y cualquier aspecto o realización de un sistema puede configurarse para llevar a cabo un método de otro aspecto o realización.

50 **Descripción de los dibujos**

La Figura 1A proporciona una vista en planta superior de un aparato para aplicar agregado y emulsión reactiva a una superficie de pavimentación que se ha de reparar.

55 La Figura 1B proporciona una vista lateral y frontal del aparato de la Figura 1A. No se ha representado un depósito de adhesivo del sistema Air-Pot [de paredes con conos sobresalientes]. Pueden proporcionarse energía eléctrica y aire comprimido al aparato por medio de una unidad de apoyo. La tolva se carga con agregado calentado, y el

aparato se ha configurado para moverse a una velocidad de 6,1 m (20 pies) por minuto, con una velocidad máxima de aporte de agregado de 22,9 m (75 pies) por segundo.

La Figura 2 proporciona una vista esquemática de un emisor de una realización, empleado en un sistema para curar un lodo de emulsión asfáltica modificada de polímero y compuesto pétreo sobre un pavimento dañado.

- 5 La Figura 3A y la Figura 3B proporcionan una vista esquemática de un dispositivo emisor portátil.

La Figura 4 ilustra diversas configuraciones de la vida a la fatiga y su efecto en la vida útil esperable.

La Figura 5 representa un aparato de ensayo de rueda de Hamburgo, empleado para ensayar núcleos de pavimento asfáltico seleccionados.

La Figura 6 proporciona una comparación de atributos de diversos núcleos ensayados.

- 10 La Figura 7A proporciona los resultados de un ensayo de máquina tractora de rueda de Hamburgo para núcleos de pavimento asfáltico de muelle de la izquierda (L3, L6, L9).

La Figura 7B proporciona los resultados de un ensayo de máquina tractora de rueda de Hamburgo para núcleos de pavimento asfáltico de muelle de la derecha (R3, R6, R9).

- 15 La Figura 8A proporciona los resultados de un ensayo de máquina tractora de rueda de Hamburgo para núcleos de pavimento asfáltico de muelle de la izquierda (L3, L6, L9) preparados con el propósito de conseguir un enlace transversal máximo en los tres aspectos.

La Figura 8B proporciona los resultados de un ensayo de máquina tractora de rueda de Hamburgo llevado a cabo en los mismos núcleos de pavimento asfáltico L3, L6 y L9 de la Figura 7A, que ya han sido sometidos a 25.000 ciclos.

- 20 La Figura 9 proporciona un esquema que representa las etapas implicadas en la reconstrucción de pavimento dañado o envejecido, utilizando tecnología de emisor de una realización.

La Figura 10 proporciona una comparación de coste por kilómetros de carril, por año, de tecnología de emisor de una realización frente a tecnologías de rejuvenecimiento de pavimento convencionales.

La Figura 11 proporciona una comparación de atributos de tecnología de emisor frente a tecnologías de rejuvenecimiento de pavimento convencionales.

- 25 La Figura 12 proporciona una comparación de los resultados del ensayo de resistencia al restregamiento ASTM D2486 para revestimientos de pavimento convencionales frente a lodo atomizado TractionSeal (TractionSeal Atomized Slurry) (piedra -150).

- 30 Las Figuras 13A a 13D son fotografías de los revestimientos sometidos al ensayo de resistencia al restregamiento ASTM D2486 de la Figura 11. Estos incluyen un alquitrán de hulla de alto rendimiento a 500 ciclos (Figura 13A), un carbón de sellado de primera calidad a 650 ciclos (Figura 13B), una pintura acrílica para líneas viales a 1.250 ciclos (Figura 13C), y un lodo atomizado TractionSeal a 1.650 ciclos (Figura 13D).

Descripción detallada de la realización preferida

- 35 La descripción y los ejemplos que siguen ilustran en detalle una realización preferida de la presente invención. Los expertos de la técnica constatarán que existen numerosas variantes y modificaciones de esta invención que están abarcadas por su alcance. De acuerdo con ello, la descripción de una realización preferida no ha de considerarse como limitativa del alcance de la presente invención.

- 40 Contrariamente a los métodos convencionales, los sistemas de las diversas realizaciones y sus métodos de reparación de pavimento asociados no solo reparan el pavimento hasta obtener una superficie uniforme con propiedades de pavimentación similares o superiores a las del pavimento asfáltico convencional o reparado convencionalmente, sino que también modifican el carácter del lecho de calzada deteriorado subyacente con el fin de minimizar o eliminar la transmisión de las grietas. El carácter del pavimento subyacente es función, por ejemplo, de la composición de partida de la calzada, de cómo se fabricó inicialmente la calzada, de la exposición de la calzada a condiciones ambientales y a diferentes cargas a lo largo del tiempo, y de los procedimientos de reparación previos.

- 45 El pavimento que ha experimentado las tensiones a largo plazo provocadas por el sol, la lluvia y las cargas mecánicas soporta un ataque químico oxidativo continuo que tiene como resultado una pérdida de masa para el agente aglomerante. Como se produce una pérdida de masa del agente aglomerante del asfalto, el pavimento se encoge, con lo que se forman configuraciones de grietas: lateralmente, longitudinalmente y en un cuarteamiento a modo de piel de cocodrilo. La evidencia visual, física de esta propagación de grietas comienza habitualmente dentro
50 de los siete primeros años tras la instalación de una nueva calzada de pavimento de hormigón asfáltico (AC – “asphalt concrete”–).

El mecanismo de reacción detallado de la oxidación del asfalto que da lugar a esta pérdida de masa de los compuestos químicos sigue siendo una ciencia en desarrollo. Se acepta generalmente que subcomponentes resinosos tales como fracciones aromáticas de naftaleno y aromáticas polares son consumidos durante el proceso de oxidación. Estas resinas constituyen la fase continua, de suspensión disolvente, del asfalto; y, se hace referencia a ellas, tomadas en conjunto, como maltenos. Suspendeda en el seno de los maltenos, se encuentra una sustancia de elevado peso molecular conocida como asfaltenos. Si bien se está llevando a cabo un desarrollo final de este mecanismo de reacción, los científicos investigadores han identificado la(s) velocidad(s) de producción de grupos carbonilo tales como cetonas y ácido carboxílico y sulfóxidos, identificados por espectroscopia de infrarrojos, como la «huella dactilar» funcional de que el mecanismo está en progreso. Una exposición detallada de la relación existente entre la compatibilidad del asfalto, las propiedades de flujo y el envejecimiento oxidativo se ha proporcionado por Pauli et al. en Int. J. Pavement Res. Technol. 6(1): 1-7. Pauli et al. proporcionan metodología para determinar el envejecimiento en pavimento asfáltico, que puede emplearse para determinar el grado de envejecimiento del pavimento asfáltico, lo que permite una comparación de la calidad de reparación alcanzada por diversos métodos (por ejemplo, métodos de las realizaciones frente al reciclado en caliente sobre el terreno convencional, o a la tecnología de parchado en frío o parchado en caliente convencional).

La ductilidad y la adhesión del hormigón asfáltico es principalmente una función de los componentes de malteno. Los agentes aglomerantes de asfalto envejecidos, que contienen un porcentaje sustancialmente elevado de asfalteno, exhiben fragilidad y la suficiente pérdida de masa resistencia para que las cargas mecánicas de rodadura aceleren la velocidad de aparición de daños en la estructura del compuesto piedra-asfalto. Los 1,25 cm (0,5 pulgadas (0,5")) más superiores de la sección transversal del pavimento de AC tienen la concentración más elevada de asfaltenos, ya que el mecanismo oxidativo se ve acelerado por la presencia concentrada de humedad, aire y luz solar en la superficie del pavimento. Semejante pavimento envejecido y cuarteado a modo de piel de cocodrilo se repara utilizando los sistemas de reparación de pavimento de diversas realizaciones.

Puede conseguirse una cohesión autorregenerativa de fase sólida en el seno de un asfalto mediante el uso de emulsiones convencionales modificadas con resina biológica funcional para alcanzar una vida robusta ante la fatiga, incluyendo propiedades de cicatrización por sí mismo, o autónoma, para elementos de infraestructura tales como carreteras o estructuras de hormigón. La homogeneización de oligómeros líquidos asfálticos implica el uso de una pesada plataforma móvil de calentamiento industrial, altamente eficiente, que es capaz de emitir en una amplia anchura de banda de energía comprendida entre el infrarrojo cercano y las microondas cercanas. La tecnología para la construcción y la restauración de calzadas se ha desarrollado para optimizar las cualidades adhesivas y los procesos de curado que atenúan sustancialmente las relaciones tensión-deformación, bien comprendidas, en el seno de sistema de agente aglomerante de agregado, con lo que se extiende la vida ante la fatiga.

Etapa de preparación del pavimento

La etapa inicial de la metodología de reparación de pavimento implica, preferiblemente, una etapa preparatoria. La superficie rugosa y las grietas del pavimento envejecido, por ejemplo, cuarteado a modo de piel de cocodrilo, están, por lo común, plagadas de suciedad y materia orgánica, las cuales se eliminan para permitir que nuevo material de lodo entre en contacto con la estructura de compuesto de piedra-asfalto original. En esta etapa preparatoria, la superficie de pavimento se despeja de tales residuos, así como de marcas del pavimento (reflectores de calzada, marcas de pavimento resaltadas, marcas temporales de poliuretano, estructuras táctiles del pavimento, y otras similares).

Se prefiere generalmente retirar las marcas del pavimento (reflectores de calzada, marcas de pavimento resaltadas, marcas temporales de poliuretano, estructuras táctiles del pavimento, impresiones termoplásticas, marcas de paso de cebrá u otras marcas o dispositivos de seguridad) mediante una retirada mecánica, por ejemplo, eliminación por rascado o combustión, antes de llevar a cabo pasos adicionales. Una ventaja de la metodología de diversas realizaciones frente a procedimientos convencionales es que no hay necesidad de limpiar el pavimento más allá de una limpieza con escoba, por ejemplo, eliminando la suciedad y las marcas del pavimento, y no hay tampoco necesidad de eliminar ninguna pintura ni otras marcas semejantes existentes en la superficie del pavimento.

La eliminación de los residuos se lleva a efecto, ventajosamente, aplicando una mezcla de aire-agua presurizada a la superficie; sin embargo, es posible llevar a cabo otros métodos en lugar del tratamiento a presión o conjuntamente con este. Por ejemplo, la superficie puede ser limpiada utilizando únicamente aire a presión, únicamente agua a presión, un disolvente presurizado, barrido, aspiración por vacío u otros métodos similares. En una realización preferida, la eliminación de los residuos se lleva a efecto, preferiblemente, utilizando un sistema de arrastre con agua en pequeño volumen y a alta presión, que funciona en el intervalo entre 0,69 MPa y 3,45 MPa (entre 100 psi [libras por pulgada cuadrada] y 500 psi)]. Resulta particularmente preferido un chorro de boquilla que suministra una configuración cónica, debido a que no deja «sombra» de rociamiento a medida que el dispositivo de lavado se desplaza paralelamente a la superficie del pavimento. Un sistema de vacío situado justo delante y justo detrás del sistema de lavado a alta presión puede minimizar el posible impacto negativo en el entorno ocasionado por el material desalojado, al ser transferido al seno de la atmósfera y a la línea de cuneta adyacente. Un procedimiento de reciclado en caliente sobre el terreno convencional no sigue prácticamente nunca esta práctica, puesto que, cuando la sección transversal más superior del pavimento (aproximadamente los 5 cm (2") superiores del pavimento) es aplanada o escaificada, la suciedad y los residuos orgánicos son simplemente hechos rodar al seno del pavimento

que se está tratando, por lo que se convierten en pequeños defectos en el acabado final del pavimento reciclado.

Las grandes grietas (por ejemplo, grietas más anchas que 2,5 cm (1 pulgada)), socavones y baches son, preferiblemente, rellenados con un parche de material de hormigón asfáltico frío o caliente adecuado, y compactados hasta obtener una estructura densa paralela a la elevación de la superficie del pavimento circundante.

5 En algunas realizaciones, las desviaciones con respecto a un plano superficial uniforme (por ejemplo, socavones, baches, grietas, acanaladuras, compresiones, surcos y otros defectos similares) en el pavimento se rellenan y compactan con calidades seleccionadas de agregado seco, por ejemplo, antes de la aplicación de un parche de asfalto frío o caliente, o de una emulsión asfáltica. Las desviaciones con respecto a un plano superficial uniforme pueden penetrar profundamente en la superficie de un pavimento rugoso, por lo común, hasta una profundidad de hasta 7,6 cm o 10,2 cm (3 o 4 pulgadas). El agregado sirve para llenar el volumen perdido de la estructura y volver a situar la superficie del pavimento en un plano uniforme, sin baches, surcos ni otras irregularidades importantes. El agregado también se selecciona de manera que exhiba la combinación adecuada de texturas microscópica y macroscópica con el fin de garantizar una buena tracción para los vehículos que se desplazan sobre la carretera bajo condiciones ambientales. El tamaño típico de los agregados oscila entre 0,64 cm (1/4 de pulgada) de diámetro y 10 0,95 cm (3/8 de pulgada) de diámetro; sin embargo, puede emplearse agregado más pequeño o más grande. Agregado adecuado incluye material en partículas gruesas habitualmente utilizado en la construcción, tal como arena, grava, piedra machacada, escoria, hormigón reciclado o pavimentos asfálticos, caucho de neumático triturado y agregados geosintéticos. En aplicaciones de pavimentación, el agregado sirve como refuerzo para añadir resistencia al material compuesto global. Se utilizan también agregados como material de base bajo las calzadas. En 15 otras palabras, se utilizan agregados como cimiento estable o base de calzada / raíl con propiedades predecibles y uniformes (por ejemplo, para ayudar a impedir el asentamiento diferencial bajo la calzada o un edificio), o como diluyente de bajo coste que se une con cemento o asfalto más caro para formar hormigón. La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales publica un listado de especificaciones para diversos productos de agregado de construcción que, por su concepción individual, resultan adecuados para propósitos de construcción específicos. Estos productos incluyen tipos específicos de agregado grueso y fino, diseñados para tales usos como aditivos de las mezclas de asfalto y hormigón, así como otros usos en construcción. Departamentos de transporte estatales refinan adicionalmente las especificaciones materiales del agregado con el fin de particularizar el uso del agregado a las necesidades y al suministro particular en sus emplazamientos concretos. Las fuentes de aporte de agregados pueden agruparse en tres categorías principales: las obtenidas de la minería de depósitos de agregado mineral, 25 incluyendo arena, grava y piedra; las obtenidas de una escoria de desecho producto de la fabricación de hierro y acero; y las obtenidas por el reciclaje del hormigón, el cual, a su vez, se elabora principalmente de agregados minerales. El mayor volumen de material reciclado que se utiliza como agregado de construcción es la escoria de alto horno y la escoria de horno para acero. La escoria de alto horno es bien enfriada por aire (enfriamiento lento al aire libre) o bien granulada (formada enfriamiento rápido de escoria fundida en agua para formar partículas similares al vidrio del tamaño de los granos de arena). Si la escoria de alto horno granulada tiene acceso a cal libre durante su hidratación, desarrolla fuertes propiedades de cemento hidráulico y puede sustituir parcialmente al cemento Portland en el hormigón. La escoria de horno para acero es también enfriada con aire. El agregado de vidrio, una mezcla de colores machacados hasta un tamaño pequeño, se utiliza como sustituto en muchos proyectos de construcción y de obra pública, en lugar de la gravilla o de la roca machacada. Los propios agregados pueden ser reciclados en nuevos agregados. Muchos agregados geosintéticos de material de base polimérico se hacen también a partir de materiales reciclados. Cualquier material sólido que exhiba propiedades similares a las de los agregados antes descritos puede ser empleado como agregado en los procedimientos de diversas realizaciones. Una vez que se ha colocado el agregado en las zonas dañadas (socavones, baches grandes, grietas grandes o compresiones), es preferiblemente compactado, alisado y nivelado.

45 Etapa de emulsión asfáltica reactiva

Una vez limpiada la superficie del pavimento envejecido, se rocía, vierte o aplica de otro modo una emulsión asfáltica reactiva o un lodo de compuesto de agregado, por ejemplo, un lodo caliente, sobre la superficie limpia (y, opcionalmente, un parche de hormigón asfáltico caliente, un parche de hormigón asfáltico frío y/o el relleno de agregado seco). La emulsión asfáltica reactiva y/o el lodo de compuesto de agregado así aplicados penetran 50 rápidamente en las pequeñas grietas y fisuras del pavimento envejecido así como en las zonas rellenas de agregado y secas, lo que proporciona una sección transversal saturada de forma sustancialmente completa a una superficie del plano de la carretera. Debido a la alta capacidad de penetración de la emulsión asfáltica reactiva del lodo de emulsión y compuesto de agregado, tan solo se necesita una pequeña cantidad de agente aglomerante para formar una fuerte unión con el agregado seco –por lo común, se emplea aproximadamente el 10% de agente aglomerante par el 90% de agregado seco–. La emulsión reactiva está, preferiblemente, caliente y se aplica, por lo común, en la forma del 20% al 40% de emulsión sólida en agua. El agua de la emulsión asfáltica reactiva bien desaparece durante las actividades subsiguientes, o bien es absorbida por el agregado o permanece de otro modo en el sistema de pavimentación. El agente aglomerante, al curarse, no solo aglutina o da consistencia al nuevo agregado, sino que también une el nuevo agregado al pavimento viejo, y aglutina el pavimento viejo.

60 Los métodos de procedimiento se sirven de varias combinaciones de elastómeros y otros componentes para conseguir una superficie de calzada que exhiba una dureza extremadamente buena, una capacidad de estiramiento extremadamente buena, una buena resistencia a las condiciones ambientales y una buena adherencia. Las composiciones son portadas en agua, susceptibles de ser rociadas y pueden proporcionarse en un

empaquetamiento único. Se emplean una pluralidad de elementos de agente aglomerante susceptibles de formación de enlaces transversales. Además de unir el agregado nuevo con el pavimento viejo, las composiciones de emulsión reactiva pueden configurarse para uso como un revestimiento de imprimación / pegado, una capa intermedia de absorción de tensiones o un revestimiento superior restaurador de la textura e impermeable al agua.

- 5 Las composiciones exhiben viscosidades adecuadas para el tratamiento utilizando técnicas de pavimentación convencionales, y se polimerizan a una temperatura compatible con las temperaturas de pavimentación con asfalto convencionales. Se emplean diluyentes de disolución y plastificadores en combinación con los elastómeros, de tal manera que la mezcla cauchutada de elastómero y asfalto se hace pasar a forma líquida a la temperatura de la sala, lo que ofrece tremendas ventajas en términos de manejabilidad y facilidad de instalación, además de un buen comportamiento a largo plazo del material de pavimentación resultante. Las composiciones de elastómero incluyen caucho de butilo, asfalto modificado de dieno y resinas biológicas fortalecidas químicamente (resinas biológicas que se han hecho pasar a través de un ciclo de reactor para mejorar su estabilidad a largo plazo, su resistencia al sol y su resistencia hidrolítica de largo plazo), y contienen una cantidad entre despreciable (< 1%) y nula de perfluorocarburos (PFCs), y una cantidad despreciable (< 1%) de hidrocarburos poliaromáticos (PAHs – “polyaromatic hydrocarbons”–) como componentes volátiles.

Alternativamente a, y en combinación con, la colocación de agregado seco en los huecos según se ha descrito previamente, las composiciones de elastómero pueden ser preparadas como un líquido ambiental que, en el lugar de la obra, puede ser rociado al interior de una mezcladora junto con agregado. La composición reviste la piedra utilizando técnicas similares a las de una planta de mezcla en caliente, a excepción de que se lleva a cabo a temperatura ambiental. El agregado dispuesto a modo de revestimiento se extiende sobre el terreno y se esparce con cajas de arrastre o máquinas de pavimentación convencionales en un revestimiento muy delgado. Dependiendo del tamaño del agregado, puede obtenerse un espesor de 0,25 cm (1/10 pulgadas) (por ejemplo, utilizando revestimiento por rociado u otras técnicas de deposición); sin embargo, se emplean, por lo común, espesores de aproximadamente 1,27 cm (1/2 pulgada) con el agregado, que tiene un diámetro de hasta aproximadamente 0,38 cm (3/8 de pulgada).

La emulsión reactiva es una emulsión portada en agua de un asfalto modificado de polímero. El asfalto, en sí, puede ser proporcionado en forma de emulsión. El asfalto, al que se hace referencia también como bitumen, es un líquido o semisólido pegajoso, negro y altamente viscoso que está presente en la mayoría de los petróleos crudos y en algunos depósitos naturales. El asfalto se utiliza como pegamento o agente aglomerante mezclado con partículas de agregado para crear un pavimento asfáltico. Los términos «asfalto» y «bitumen» se utilizan a menudo de forma intercambiable con el significado de formas tanto naturales como fabricadas de la sustancia. El asfalto es el residuo refinado obtenido del proceso de destilación de crudos seleccionados y hierve a 274°C (525°F). Al asfalto que se da en la naturaleza se le denomina en ocasiones «bitumen crudo». El asfalto se compone principalmente de una mezcla de hidrocarburos aromáticos policíclicos altamente condensados; se modela de la forma más común como un coloide.

Diversas tecnologías permiten que el asfalto se mezcle a temperaturas mucho más bajas que su punto de ebullición. Esto implica mezclar el asfalto con disolventes de petróleo para formar «cortes» con un punto de fusión reducido o mezclas con agua para tornar el asfalto en una emulsión. Las emulsiones asfálticas contienen hasta el 70% de asfalto y, por lo común, menos del 1,5% de aditivos químicos. Existen dos tipos principales de emulsiones con diferente afinidad por los agregados: catiónicas y aniónicas.

El asfalto puede también hacerse de recursos renovables no basados en el petróleo, tales como almidones de azúcar, de molasas, de arroz, de maíz y de patata, o a partir de material de desecho por destilación fraccionada o de aceites de motor usados.

El asfalto puede ser modificado mediante la adición de polímeros, por ejemplo, caucho natural o cauchos termoplásticos sintéticos. El estireno butadieno estireno y el estireno etilenobutadieno estireno son cauchos termoplásticos. El acetato de etileno vinilo (EVA –“ethylene vinyl acetate”–) es un polímero termoplástico. La calidad más común de EVA para la variante de asfalto de pavimento es la clasificación 150/19 (un índice de flujo de fusión de 150 y un contenido de acetato de vinilo del 19%). El polímero se ablanda a alta temperatura y, a continuación, se solidifica al enfriarse. Por lo común, se añade al asfalto aproximadamente el 5% en peso del aditivo polimérico. El asfalto cauchutado resulta particularmente adecuado para su uso en ciertas aplicaciones.

Pueden emplearse resinas biológicas triglicéridas dotadas de cierta función como componentes termoestables en ciertas formulaciones de emulsión. Los termoestables se endurecen a alta temperatura. Cuando se emplea en combinación con un componente termoplástico, la composición conserva su forma mejor al calentarse y bajo condiciones de alta temperatura. Resinas biológicas adecuadas son derivados de triglicéridos –tríesteres de ácidos grasos del trihidroxi alcohol glicerol. Los triglicéridos son una abundante fuente renovable que se obtiene fundamentalmente de aceites naturales vegetales o animales que contienen cadenas laterales de ácidos grasos de monosaturados a polisaturados. Estos pueden obtenerse de una variedad de fuentes vegetales, por ejemplo, de aceite de linaza, aceite de ricino, aceite de soja. El aceite de linaza comprende un promedio del 53% de ácido linoleico, 18% de ácido oleico, 15% de ácido linoleico, 6% de ácido palmítico y 6% de ácido esteárico. La formación de enlaces transversales se produce en puntos de insaturación de las cadenas laterales de ácidos grasos. Los

triglicéridos pueden ser modificados de manera que contengan grupos epoxídicos y/o hidroxilo, por métodos conocidos en la técnica, a fin de mejorar la formación de enlaces transversales y permitir que el triglicérido se una por enlaces transversales utilizando químicas de formación de enlaces transversales de uretano convencionales.

5 Componentes de enlace transversal de agente aglomerante adecuados incluyen resinas que son multifuncionales y reaccionan con hidrógenos activos, por ejemplo, de grupos carboxílico o de carbonilo, o de hidroxilo. Estas resinas pueden incluir poliuretanos, isocianatos, resinas epoxídicas líquidas basadas en bisfenol A, y resinas epoxídicas de glicol alifático según se comercializan por The Dow Chemical Company. El componente de formación de enlaces transversales del agente aglomerante es susceptible de ser dispersado en agua, pero permanecerá almacenado de forma intermedia de un modo tal, que se impida que vaya a formar un enlace transversal en presencia de agua. Al evaporarse el agua, formará cruces consigo mismo dentro de las 24 horas desde el inicio del tratamiento con UV. Siempre que esté presente agua en la mezcla, los componentes pueden permanecer en proximidad sin formar enlaces transversales (por ejemplo, dando lugar a una formulación de un único componente).

10 Componentes de suspensión adecuados incluyen geles de suspensión de resina biológica en la que se han formado previamente enlaces transversales. Estos reaccionan tanto con el componente de enlace transversal como con el catalizador para producir un plástico duro, resistente al agua y resistente a la cizalladura. El componente de suspensión es, de preferencia, relativamente barato, tiene una tremenda robustez y no es hidrófobo.

15 Catalizadores adecuados incluyen iniciadores multifuncionales previamente dispersados (MFXI –“multi-functional pre-dispersed initiators”–). Los iniciadores multifuncionales son los que poseen más de un grupo funcional capaz de proporcionar un lugar para el crecimiento de una cadena. El catalizador ayuda a mejorar el crecimiento en peso molecular, y, cuando se compone en el seno del polímero, imparte robustez. El catalizador puede ser activado bien por radiación ultravioleta (por ejemplo, por la luz del sol), o bien por calor. Catalizadores multifuncionales adecuados pueden incluir uno o más sulfatos y un metal reactivo que es un captador de electrones, el cual puede causar la formación de enlaces transversales entre un agente de formación de enlaces transversales con afinidad al hidrógeno y otros grupos funcionales, en presencia de agua.

20 Los componentes de la composición de emulsión reactiva pueden experimentar una conversión termotrópica, con el resultado de un enmarañamiento y/o formación de puentes en ciertos grupos funcionales, de tal manera que el producto de reacción resultante comprende elementos tanto termoplásticos como termoestables. La composición resultante exhibe una suspensión superior (el «producto») frente a la decantación del elemento inorgánico, mucho más denso (agregado de fino a grueso), por la formación de un medio de «clatrato» o «en forma de jaula». Esta capacidad de conexión con mutua trabazón, completamente integrada, entre los tres componentes poliméricos mantiene el agregado en su lugar y mejor protegido de los elementos que en las formulaciones convencionales.

25 El componente termoplástico y los componentes termoestables / de suspensión poseen grupos funcionales de terminación de cadena que son obstaculizados principalmente por el agua pero que reaccionarán selectivamente para formar enlaces transversales, al evaporarse el agua, con el grupo funcional termoplástico, en lugar de con el grupo funcional de moléculas termoestables hermanas, con lo que se forma un verdadero termótropo en lugar de un enmarañamiento molecularmente menos preciso y que exhibe propiedades físicas más amorfas (y menos útiles). La composición puede proporcionarse en forma de un empaquetamiento único, que es activado / enlazado transversalmente al eliminarse el agua. La química de las cadenas es tal, que las fracciones termoplásticas se acoplan a las fracciones termoestables. Cuando se calienta, actuará como un termoplástico, pero tendrá una resistencia importante a la distorsión térmica debido a los componentes termoestables. Las cantidades relativas de los componentes termoplásticos y termoestables determinarán la resistencia. Por ejemplo, una pequeña cantidad de fracciones termoplásticas con una gran cantidad de fracciones termoestables presentará una escasa plasticidad con el calentamiento. El material enlazado transversalmente resultante puede ser considerado un termótropo que se comportará tanto como un compuesto termoestable cuanto como un compuesto termoplástico a diferentes temperaturas.

30 El componente termoplástico de las composiciones portadas en agua de realizaciones seleccionadas es, preferiblemente, una emulsión asfáltica modificada de polímero, de tal manera que el polímero es, por lo común, un estireno, etileno, butadieno estireno, o un polímero de estireno butadieno estireno. El bloque intermedio, por ejemplo, butadieno y/o etileno butadieno, puede ser lineal o radial. Los glicoles de polietileno, tales como los disponibles en la Kraton and Asahi, son polímeros de óxido de etileno de elevado peso molecular, que contienen oxígeno, no iónicos y solubles en agua, que tienen dos grupos hidroxilo terminales. Se encuentran disponibles en una amplia variedad de magnitudes de peso molecular, e incluyen polímeros termoplásticos cristalinos (PM [peso molecular] > 2.000) adecuados para uso en ciertas composiciones de las diversas realizaciones. Se dispone de un amplio abanico de propiedades adicionales mediante la integración de caucho de poliisobutileno (por ejemplo, Oppanol®, fabricado por la BASF, de Ludwigshafen am Rhein, Alemania). Los poliisobutilenos Oppanol® son de peso molecular medio y alto, oscilando entre un PM de 10.000 y un PM de 5.000.000. La Tabla 1 lista propiedades de poliisobutilenos Oppanol® comercialmente disponibles que resultan adecuados para su uso en compuestos de elastómero de diversas realizaciones.

Tabla 1

Oppanol®	Viscosidad en solución (isooctano, 20°) Concentración [g/cm ³]	Índice de Staudinger (J0) [cm ³ /g]	Peso molecular promedio, Viscosidad promedio (Mv) [g/mol]	Estabilizado (con BHT)
Oppanol® de peso molecular medio				
B 10 SFN	0,01	27,5-31,2	40.000	No
B 10 N	0,01	27,5-31,2	40.000	Sí
B 11 SFN	0,01	32,5-36,0	49.000	No
B 12 SFN	0,01	34,5-39,0	55.000	No
B 12 N	0,01	34,5-39,0	55.000	Sí
B 13 SFN	0,01	39,0-43,0	65.000	No
B 14 SFN	0,01	42,5-46,4	73.000	No
B 14 N	0,01	42,5-46,4	73.000	Sí
B 15 SFN	0,01	45,9-51,6	85.000	No
B 15 N	0,01	45,9-51,6	85.000	Sí
Oppanol® de alto peso molecular				
B 30 SF	0,005	76,5-93,5	200.000	No
B 50	0,002	113-143	400.000	Sí
B 50 SF	0,002	113-143	400.000	No
B 80	0,002	178-236	800.000	Sí
B 100	0,002	241-294	1.110.000	Sí
B 150	0,001	416-479	2.600.000	Sí
B 200	0,001	551-661	4.000.000	Sí

5 El lodo de emulsión reactiva y/o agregado puede ser rociado o vertido en una superficie de pavimento preparada o no preparada que se ha de reparar. Al contacto con roca o pavimento caliente, el agua presente se evapora y la composición se consolida. Una vez consolidada, la composición puede ser tratada con radiación electromagnética y, a continuación, compactada mediante un rodillo vibratorio mientras está a, o por encima de, 66°C (150°F) (o por encima de 79°C (175°F), o por encima de 93°C (200°F)) pero por debajo del umbral «de humo azul» (por lo común, > 149°C (300°F)), preferiblemente por debajo de 135°C (275°F), de la forma más preferible, aproximadamente a 121°C (250°F). La superficie resultante tiene una densidad de huecos muy baja, una elevada resistencia al calentamiento y al ablandamiento, y tiene puntos de anclaje con un núcleo de desgaste que está unido en su interior, por cuanto no se moverá si se coloca por encima de él nuevo pavimento. Las composiciones de diversas realizaciones hacen posible mejorar drásticamente la densificación (o reducción del porcentaje de huecos); por ejemplo, un pavimento que tiene del 6% al 8% de huecos puede ser densificado hasta obtener un pavimento que tenga el 5% de huecos o menos, o incluso el 4% de huecos o menos, por ejemplo, entre el 2% y el 2,5%, el 3% o el 3,5% de huecos. Es deseable una reducción del porcentaje de huecos del 1%, el 2%, el 3%, el 4% o el 5%, o más (por ejemplo, una reducción del porcentaje de huecos del 1% correspondería a una densificación de un pavimento que tiene el 6% de huecos hasta obtener uno que tiene el 5% de huecos); sin embargo, pueden ser también ventajosas reducciones más pequeñas. La vida del pavimento se incrementa sustancialmente al mejorarse su densificación.

20 Si bien puede, opcionalmente, emplearse agregado seco, sin tratar, en la etapa preparatoria, y combinarse ulteriormente con la emulsión reactiva para obtener un lodo de emulsión reactiva y agregado, puede resultar ventajoso combinar la emulsión reactiva y el agregado en un lodo antes de aplicarlos al pavimento envejecido (por ejemplo, cuarteado a modo de piel de cocodrilo). En ciertas realizaciones, puede ser deseable tratar previamente la superficie de agregado para formar «puntos de anclaje», mediante su revestimiento con una resina termoestable dispersable en agua que tenga, además de los grupos funcionales que se acoplan selectivamente con la función

5 termoplástica anteriormente expuestos, una función pendular independiente, de morfología intermedia, que se una, con una resistencia suficientemente mejorada, a la química de la roca específica que se está utilizando en la composición final. Primordialmente, esto mejora drásticamente la adhesión del agente aglomerante a la interfaz piedra-agente aglomerante, con lo que se reduce la susceptibilidad a la humedad. También garantiza que la película permanece en su lugar y no se desliza prematuramente en sentido lateral. El beneficio de una aplicación tal como la de un imprimador entre capas es una compactación mucho más alta y, por tanto, una densidad de huecos menor, esto es, una resistencia mejorada a la fragilización oxidativa de los hidrocarburos y, en última instancia, una vida útil notablemente más larga.

10 Las emulsiones reactivas exhiben propiedades superiores cuando se comparan con formulaciones convencionales. Las propiedades superiores pueden ser en los aspectos de manejo, capacidad de almacenamiento, peligrosidad de los materiales, características de curado, consideraciones medioambientales, resistencia química, susceptibilidad a la humedad, resistencia al sol, magnitud de tracción y de flexión, y magnitud de resistencia al desprendimiento o exfoliación. Las composiciones pueden ser manejadas, almacenadas e instaladas utilizando equipo convencional. Pueden exhibir una densidad de huecos en hormigón de asfalto de mezcla en caliente (HMA –“hot mix asphalt”–) reducida. Pueden proporcionar una manera novedosa de restablecer la textura microscópica de una superficie de pavimento. Pueden exhibir una resistencia al agua y/o una resistencia al sol mejoradas. Las composiciones pueden proporcionar las más altas propiedades mecánicas frente al coste unitario, y son sostenibles. Las composiciones restauran y estabilizan un amplio abanico de debilidades del asfalto, y dan lugar a un coste por ciclo de vida sustancialmente más bajo en el mantenimiento del pavimento.

20 La Figura 1A proporciona una vista en planta superior de un aparato para aplicar agregado y emulsión reactiva a una superficie de pavimentación que se ha de reparar. La Figura 1B proporciona una vista lateral y en alzado frontal del aparato de la Figura 1A, No se ha representado un depósito de adhesivo del sistema Air-Pot. Pueden proporcionarse potencia eléctrica y aire comprimido al aparato mediante una unidad de apoyo, no representada. La tolva se carga con un agregado calentado, y el aparato se ha configurado para desplazarse a una velocidad de 6,1 m (20 pies) por minuto, con una velocidad máxima de aporte de agregado de 22,9 m (75 pies) por segundo.

Etapa de agregado revestido con elastómero

30 En ciertas realizaciones, una vez que se ha colocado el agregado y se ha aplicado la emulsión reactiva, puede, opcionalmente, rociarse o esparcirse a lo largo y ancho de la superficie del pavimento una delgada capa (desde aproximadamente 0,32 cm (1/8 de pulgada) o menos hasta aproximadamente 2,5 cm (1 pulgada) o más) de agregado revestido con elastómero, al objeto de proporcionar una superficie uniforme y rellenar cualesquiera otras depresiones que no se hubieran rellenado con agregado durante la etapa de preparación con agregado.

Etapas de calentamiento

35 En ciertas realizaciones, puede ser deseable calentar una superficie de asfalto. El calentamiento puede llevarse a cabo por técnicas convencionales o por técnicas según se describe en la presente memoria. En ciertas realizaciones, en las que se aplica una emulsión asfáltica a una superficie de pavimento para que sea sometida a exposición a radiación electromagnética del orden de terahercios, puede ser deseable calentar la superficie del pavimento antes de, y/o después, de la aplicación de la emulsión asfáltica, pero antes de cualquiera aplicación subsiguiente de radiación electromagnética del orden de terahercios (por ejemplo, para inducir la formación de enlaces transversales). En la etapa de calentamiento, se aplica radiación electromagnética de una longitud de onda de pico preseleccionada a la superficie del pavimento antes y después de la aplicación de la emulsión asfáltica, a fin de calentar el asfalto. La radiación de calentamiento puede generarse utilizando técnicas convencionales según se describe en esta memoria, o mediante la modificación de un emisor, como en diversas realizaciones, para emitir en una longitud de onda deseada. La longitud de onda de la radiación electromagnética que se utiliza para el calentamiento se selecciona basándose en el agregado y/o el asfalto presentes. Se proporcionan más adelante longitudes de onda de pico preferidas para materiales comunes. Por ejemplo, la roca granítica se calienta, ventajosamente, mediante la aplicación de radiación electromagnética con una longitud de onda de pico de entre 3.000 nm y 5.000 nm. La arena, dependiendo de la composición, se calienta, ventajosamente, mediante la aplicación de radiación electromagnética con una longitud de onda de pico de 3.000 nm o de entre 5.000 nm y 8.000 nm. La piedra caliza es calentada, ventajosamente, mediante la aplicación de radiación electromagnética de una longitud de onda de pico de entre 3.000 nm y 4.000 nm. El asfalto de malteno es calentado, ventajosamente, aplicando radiación electromagnética con una longitud de onda de pico de entre 1.000 nm y 8.000 nm. El asfalto de asfalteno es, ventajosamente, calentado mediante la aplicación de radiación electromagnética con una longitud de onda de pico de entre 1.000 nm y 3.000 nm.

Tabla 2

Longitud de onda de pico	Roca granítica	Arena	Piedra caliza	Asfalto de malteno	Asfalto de asfalteno
1.000				X	X
2.000				X	X
3.000	X	X	X	X	X
4.000	X		X	X	
5.000	X	X		X	
6.000		X		X	
7.000		X		X	
8.000		X		X	
9.000				X	
10.000				X	

5 En funcionamiento, la longitud de onda preseleccionada se consigue fundamentalmente por la regulación de la temperatura superficial del elemento emisor (la longitud de onda producida por la fuente de calor depende de la temperatura de la fuente). Esta se consigue ajustando la(s) fuente(s) por medio de la(s) cual(es) se alcanza la temperatura superficial y, por tanto, la longitud de onda de pico, para que coincida con la velocidad de absorción espectral del material que se ha de calentar. Este principio se aplica independientemente de la construcción de la fuente de calor. A modo de ejemplo, un calentador tubular de Incoloy, el hilo resistente de un calentador de cuarzo, un calentador de panel plano FP ("Flat Panel") o un calentador infrarrojo cerámico de cuerpo negro que funcione a 454°C (850°F) tendrán, todos ellos, la misma longitud de onda de energía de pico de 4.000 nm (4 micras).

10 Los métodos comunes de control de la temperatura en procesos infrarrojos incluyen variar la entrada de tensión eléctrica o voltaje al elemento y ajustar la proporción entre a tiempo y fuera de tiempo de los elementos. Un sistema de control de bucle cerrado incluye sensores infrarrojos o termopares fijados a la fuente de energía o integrales con esta. Estos sensores o termopares supervisan la temperatura del proceso y comunican señales a un control que, a su vez, comunica señales a un dispositivo de salida para suministrar corriente a (o interrumpir la corriente de) la fuente de calor.

Con una estrategia de velocidad de absorción establecida y preseleccionada, es posible determinar la densidad de vatios, el ciclo temporal del proceso y la distancia a la superficie del pavimento.

20 La radiación electromagnética de calentamiento puede ser generada utilizando sistemas emisores según se describe en esta memoria. En una realización preferida, un sistema emisor según se representa en la Figura 3A y en la Figura 3B se modifica de manera que emita una longitud de onda adecuada para el calentamiento. En este sistema, se montan una serie de cartuchos emisores, fácilmente desmontables, dentro de un bastidor de acero inoxidable susceptible de ser remolcado. La modulación de la temperatura superficial puede conseguirse por medio de uno o más de entre: un controlador de forma de onda de la potencia de CA [corriente alterna –"AC (alternating current)"–]; el diseño de los cartuchos; la regulación de la tensión; y la regulación temporal de la conexión y desconexión del aporte de potencia. Por ejemplo, los cartuchos de calentamiento pueden ser sustituidos por cartuchos emisores de terahercios, si se desea.

30 Tal y como se emplea aquí, la expresión «termalización previa óptima» (OPT –"optimal pre-thermalization"–) se define como la aplicación de radiación electromagnética de una longitud de onda de pico preseleccionada a una sección transversal particular del pavimento, de tal manera que el aumento de temperatura más grande por unidad de masa de pavimento se obtiene para la unidad más baja de energía gastada durante cualquier secuencia temporal cuando ambos parámetros están siendo correlacionados. Los kilos de pavimento / aumento en grados centígrados / kilovatios hora gastados (kgp / delta C / kWh) es la unidad de medida de la OPT.

35 Cada sección transversal de pavimento tiene sus propias características materiales y topográficas únicas. Puede conseguirse una particularización del sistema para sacar partido de estas diferencias ajustando la anchura de banda y la densidad de potencia de la radiación electromagnética de manera que se minimice la absorción de radiación para un conjunto dado de condiciones.

Como primer paso, esto se realiza haciendo referencia a tablas que han sido desarrolladas empíricamente por

experimentos de campo para clasificar las magnitudes de longitud de onda absorbida en lo que se refiere a: 1) petrografía pétreo, 2) contenido de asfalto / mlteno del agente aglomerante, y 3) categorías de topografía de anchura x profundidad de grietas promedio. Se hace referencia a esta herramienta como Carta de OPT. Véase, por ejemplo, la TABLA 2. La mayor parte del pavimento de hormigón asfáltico comprende aproximadamente el 95% de piedra y el 5% de agente aglomerante, en masa. Las grietas del pavimento pueden incluir desde aquellas a las que se hace referencia en la industria como «microfisuras», las cuales tienen un ancho de aproximadamente 0,01 cm (0,004”), hasta grietas más grandes, de hasta aproximadamente 7,6 cm (3”) de anchura. Por debajo del intervalo dimensional para las microfisuras, las grietas no son fáciles de detectar a simple vista, sin aumento. Por encima del intervalo dimensional para grietas más grandes, más allá de 7,36 cm (3”), tales grietas son, por lo común, tornadas en socavones por el tráfico rodado. Los sistemas de diversas realizaciones se emplean, preferiblemente, para la reparación de pavimento con grietas de aproximadamente 7,6 cm (3”) de anchura o menos, por ejemplo, de 0,01 cm (0,004”) a 7,6 cm (3”), o de 0,01 cm (0,004”) a 5,1 cm (2”), o de 0,01 cm (0,004”) a 2,5 cm (1”), o de 0,01 cm (0,004”) a 1,25 cm (0,5”), o de 0,01 cm (0,004”) a 1,3 cm (0,05”), o de cualquier intervalo entre medidas.

El emisor emite ondas electromagnéticas con una combinación de polarización horizontal, vertical y circular. Como regla nemotécnica, o «regla del pulgar», la anchura de una guía de ondas es del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la onda guiada. Las grietas son potenciales estructuras de guía de ondas. Puesto que las grietas pueden actuar como guías de ondas dieléctricas, la elección de una longitud de onda que sea próxima a la magnitud de absorción máxima promedio de la piedra y del agente aglomerante, pero que también pueda transportar de manera efectiva el avance en zigzag de la longitud de onda seleccionada de manera profunda en una gran parte de las grietas sin pérdida de energía, constituye una estrategia eficaz a la hora de conseguir la OPT.

Antes de comenzar la reparación de una sección concreta de pavimento, puede desplegarse un emisor a pequeña escala, fácilmente configurable, en el lugar de trabajo. Este conjunto de ensayo ha sido previamente configurado para emitir en una longitud de onda IR específica, con una densidad de vatios dada con arreglo a la Carta de OPT. Ubicaciones seleccionadas dentro del campo de reparación, que son representativas de las condiciones de campo promedio, son entonces calentadas con vistas a determinar la $k_{gp} / \Delta C / kWh$ real. Una vez que se ha medido la eficiencia de la anchura de banda IR y de la densidad de vatios preseleccionadas mediante el uso del emisor a pequeña escala, pueden realizarse ajustes adicionales en la frecuencia del emisor mediante la construcción del cartucho, la tensión, la densidad de potencia y/o la regulación temporal de la conexión y desconexión del aporte de potencia, para sintonizar el sistema según sea necesario para alcanzar la OPT durante la ampliación hasta la escala de proyecto.

En funcionamiento, una vez que el pavimento envejecido y cuarteado a modo de piel de cocodrilo ha sido limpiado de residuos, la superficie del pavimento se calienta hasta que alcanza una temperatura de aproximadamente 116°C (240°F), por ejemplo, de aproximadamente 66-177°C (150-350°F), o de aproximadamente 79-163°C (175-325°C), o de aproximadamente 93-149°C (200-300°F), o de aproximadamente 107-135°C (225-275°C), o de aproximadamente 110-121°C (230-250°F), o de cualquier intervalo entremedias. El calentamiento se lleva a cabo, ventajosamente, utilizando un conjunto geoméricamente ordenado de emisores según se describe en esta memoria (por ejemplo, como se indica con la referencia 3); puede también emplearse, sin embargo, cualquier sistema de calentamiento alternativo, tal y como se explica en la presente memoria. La longitud de onda de pico se selecciona basándose en el pavimento que se ha de calentar, por ejemplo, mediante el uso de una tabla de OPT o mediante ensayos exploratorios llevados a cabo en partes representativas de la superficie, utilizando un emisor a pequeña escala. Una vez que se ha calentado el pavimento, ya limpio, envejecido y cuarteado a modo de piel de cocodrilo, se aplica la emulsión asfáltica según se ha descrito en esta memoria. La radiación electromagnética se aplica entonces a la emulsión para alcanzar una temperatura suficiente para conseguir el curado, tal y como se describe en esta memoria, por ejemplo, de aproximadamente 121°C (250°F), o una temperatura de aproximadamente 66-177°C (150-350°F), o de aproximadamente 79-163°C (175-325°F), o de aproximadamente 93-149°C (200-300°F), o de aproximadamente 107-135°C (225-275°F), o de aproximadamente 110-121°C (230-250°F), o de cualquier intervalo entremedias.

Después de las etapas de preparación del pavimento y de aplicación de la emulsión asfáltica, el pavimento puede considerarse como un sistema «mojado» que, si se deja para que se cure lentamente, proporcionará, en última instancia, un cierto grado de calidad en lo que concierne a la superficie de circulación. Sin embargo, las etapas de calentamiento que se emplean subsiguientemente en sistemas de ciertas realizaciones dan como resultado una superficie de conducción drásticamente superior.

El elemento de calentamiento aplica radiación electromagnética que penetra profundamente en el pavimento y/o en la emulsión. Cuando se aplica a la emulsión, ablanda y establece enlaces transversales en las porciones superiores del nuevo material, con lo que se obtiene un material que, tras su compresión hasta formar una estructura densa, exhibirá propiedades que superan ampliamente las del pavimento asfáltico convencional en lo que respecta a la dureza, la resiliencia, la flexibilidad y/o la resistencia a las grietas. En las porciones inferiores del pavimento viejo, por debajo de las porciones nuevas, el procedimiento de calentamiento y paso con rodillo comprime y empuja uno contra otro el viejo asfalto calentado y la preparación de la emulsión casi libre de sustancias volátiles o la emulsión de agente aglomerante, con lo que se suprimen los huecos para crear una región de transición más dura y duradera entre el sustrato de pavimento viejo y el nuevo recubrimiento. La región de transición es un continuo y, a profundidades de entre 6,4 cm y 7,6 m (de 2½ a 3 pulgadas) o más, no penetra a través de ella la preparación de

emulsión de agente aglomerante y/o la energía electromagnética. El material es esencialmente pavimentación de asfalto viejo que ha sido refundida y comprimida para compactarla. Debido a que no contiene elastómero, las propiedades serán similares a las del asfalto convencional; sin embargo, las grietas y las fisuras habrán sido eliminadas por el procedimiento y, en consecuencia, no se transmitirán a la superficie.

- 5 De acuerdo con ello, tras la aplicación de la emulsión reactiva (y, opcionalmente, de la capa delgada de agregado revestido con elastómero) por encima de la superficie de pavimento rellenada con agregado, una sonda o lanzadera de calor, que incluye un elemento de calentamiento, se hace pasar por encima de la superficie del pavimento. La lanzadera de calor puede ser de cualquier dimensión adecuada, por ejemplo, tan grande como, o mayor que, 9,8 m (32 pies) de ancho por 9,8 m (32 pies) de largo, o más pequeña, por ejemplo, de 2,4 m (8 pies) de ancho por 2,4 m (8 pies) de largo, o de 1,2 m (4 pies) de ancho por 1,2 m (4 pies) de largo. En una realización preferida particular, la lanzadera es lo suficientemente ancha como para cubrir la anchura completa de un carril de tráfico de carretera o autopista estándar, incluyendo el arcén asociado, o la anchura completa de una carretera convencional de dos carriles. La lanzadera de calor es remolcada a través de la parte superior de la superficie preparada. Conforme la lanzadera de calor pasa por encima de la superficie, un elemento de calentamiento aporta radiación electromagnética de la longitud de onda de pico preseleccionada, por ejemplo, energía desde las microondas cercanas (por ejemplo, terahercios) hasta el intervalo infrarrojo medio, que penetra a través de la capa de agregado revestido con elastómero, y más abajo, en el seno de las partes nuevas rellenas con agregado así como de las partes viejas sin alterar, del pavimento que está siendo reparado. La energía de microondas-infrarroja penetra hacia abajo hasta una profundidad de 7,6 cm o más (3 o más pulgadas), calentando toda la masa penetrada del pavimento reparado hasta una temperatura de al menos 116°C (240°F) aproximadamente, pero, preferiblemente, de no más de 135°C-149°C (275°F-300°F), con lo que se obtiene una masa calentada y reblandecida que comprende los 2,5 cm, 5,1 cm o incluso 7,6 cm (1, 2 o incluso 3 pulgadas) más superiores de la superficie del pavimento. Una ventaja de los sistemas de ciertas realizaciones es que el pavimento viejo no se ve interrumpido o quebrantado como parte del procedimiento de reparación, de manera que no hay más que una oxidación mínima del pavimento viejo al aplicarse calor, de forma que se genera una cantidad de humo mínima por el procedimiento.

- Pueden emplearse lanzaderas de calor para calentar el pavimento. Las lanzaderas de calor pueden incorporar diversos tipos diferentes de elementos de calentamiento. Un tipo convencional de emisor comprende un tubo de acero inoxidable en cuyo interior se mezcla gas natural o propano líquido con aire y se prende, con lo que se genera calor (energía infrarroja) que es liberado a través del tubo de acero inoxidable. Si bien pueden también emplearse otros tipos de aleaciones para el tubo, el acero inoxidable es generalmente preferido por su lento deterioro y por la anchura de banda de energía que radia desde el exterior de dicho tubo, que se encuentra, por lo común, entre el infrarrojo medio y el lejano, de manera que exhibe una buena penetración en los sistemas de pavimento asfáltico. Otros tipos de emisores incluyen los que incorporan un elemento cerámico rígido en el que la combustión tiene lugar en los microporos del elemento cerámico. La anchura de banda para tales emisores se encuentra también en el infrarrojo de medio a lejano. Otro tipo de emisor incorpora un medio cerámico similar a una tela flexible, que tiene diversas capas, o capas de tela de acero inoxidable junto con tela cerámica. La tela atrapa los gases de combustión, de manera que no hay presente ninguna llama sobre la superficie del elemento mientras se generan las emisiones de infrarrojos. Cualquier dispositivo adecuado que sea capaz de generar radiación infrarroja que penetre a una profundidad de 5 cm, 7,6 cm, 10,1 cm o más (2, 3, 4 o más pulgadas) dentro de la superficie del pavimento puede ser empleado para calentar el pavimento.

- Una lanzadera de calor particularmente preferida incorpora una estructura cerámica en forma de delgadas láminas de material similar a tela que puede operar a temperaturas mucho más elevadas (por ejemplo, 2.000°C) que la cerámica convencional (por ejemplo, 1.500°C). En esta estructura, puede obtenerse una temperatura de combustión más elevada catalizando la combustión de una mezcla de aire / gas licuado del petróleo (LPG –“liquefied petroleum gas”–) o una mezcla de aire / gas nítrico. La energía infrarroja generada es, por lo común, de una longitud de onda más corta que en los sistemas previamente descritos, y puede calentar el pavimento más rápida y eficientemente que estos sistemas convencionales. El sistema también evita la creación de una llama abierta, con la generación resultante de humo y otras emisiones de carbono desde el pavimento calentado. Cualquier mezcla combustible que ajuste la reacción de combustión, en caso necesario, para generar radiación electromagnética de la longitud de onda de pico deseada, puede emplearse para generar energía penetrante adecuada para calentar la mezcla de asfalto / agregado que se ha de tratar.

En ciertas realizaciones, puede ser deseable aplicar radiación de longitud de onda más larga al pavimento. Mezclas combustibles que ralentizan la reacción de combustión de manera tal, que se producen longitudes de onda más largas, por ejemplo, gas licuado del petróleo (LPG), pueden emplearse para generar tal energía penetrante.

- 55 Los sistemas de combustión convencionales generan, por lo común, energía con una longitud de onda de entre 1 nm y 5 nm. En lugar de ello, se prefiere generalmente que se genere energía de longitudes de ondas más largas, por ejemplo, de entre 2 mm y 5 mm (en el intervalo de terahercios), por ejemplo, para iniciar la formación de enlaces transversales. El calentamiento (en oposición a la formación de enlaces transversales) de la mezcla de asfalto / agregado que se ha de tratar puede, ventajosamente, llevarse a efecto, por ejemplo, utilizando energía con una longitud de onda más corta, de entre 1.000 nm y 10.000 nm.

En ciertas realizaciones, pueden emplearse electrónica y software simplificados en asociación con un dispositivo que

5 emplee un emisor más simple, a fin de evitar expendios de capital elevados. El emisor se ha diseñado para producir radiación a una longitud de onda, o en un intervalo de longitudes de onda, que penetra en el pavimento mientras que, al mismo tiempo, minimiza el exceso de calentamiento en una región superior del pavimento, de tal manera que se obtiene un calentamiento sustancialmente uniforme en todo el medio de asfalto, descendiendo hasta una profundidad de al menos 2,5 cm, 5,1 cm o 7,6 cm (1, 2 o 3 pulgadas). En algunas realizaciones, un calentamiento sustancialmente uniforme incluye una diferencia de temperaturas a todo lo largo de una profundidad seleccionada, por ejemplo, de 5,1 cm (2 pulgadas), de no más de 10°C (50°F). En otras palabras, la temperatura de cualquier porción de la región superior no es más de 10°C (50°F) más alta que la de cualquier porción de la región más inferior. Sin embargo, en ciertas realizaciones, pueden ser aceptables diferencias de temperaturas más grandes, por ejemplo, de hasta 38°C (100°F) o más, siempre y cuando se eviten daños a la superficie curada.

10 Para conseguir el perfil de temperaturas deseado, se aplica radiación en la región infrarroja. La energía radiada que se aplica a la superficie es seleccionada con el fin de controlar la profundidad de penetración y la velocidad de penetración, para evitar el calentamiento o la activación del asfalto demasiado rápidamente, lo que puede dañar el pavimento. Los dispositivos de diversas realizaciones pueden ser fabricados para minimizar el coste y resultan adecuados para uso sobre el terreno. El uso sobre el terreno puede conseguirse alimentando en energía el dispositivo mediante el uso de un generador portátil, por ejemplo, un motor diésel Tier 4, que responde a los estándares de emisión actuales. En una realización, el generador está conectado eléctricamente a una serie de paneles emisores situados dentro de un bastidor metálico. El dispositivo puede estar aislado con una cerámica de alta densidad, y los paneles pueden estar encajados dentro del revestimiento interior cerámico de unos puntos del bastidor, de manera que apunten hacia abajo, en dirección al pavimento. Un ejemplo de un panel emisor se proporciona en la Figura 2.

15 Pueden ensamblarse entre sí un conjunto geoméricamente ordenado de paneles, como en un conjunto geoméricamente ordenado de 2 x 1 paneles, o con cualquier otra configuración deseada, por ejemplo, 2 x 2, 2 x 3, 2 x 4, 2 x 5, 2 x 6, 2 x 7, 2 x 8, 2 x 9, 2 x 10, 2 x 11, 2 x 12, 2 x 13, 2 x 14, 2 x 15, 2 x 16, 2 x 17, 2 x 18, 2 x 19, 2 x 20, 2 x (más de 20), 3 x 3, 3 x 4, 3 x 5, 3 x 6, 3 x 7, 3 x 8, 3 x 9, 3 x 10, 3 x 11, 3 x 12, 3 x 13, 3 x 14, 3 x 15, 3 x 16, 3 x 17, 3 x 18, 3 x 19, 3 x 20, 3 x (más de 20), 4 x 4, 4 x 5, 4 x 6, 4 x 7, 4 x 8, 4 x 9, 4 x 10, 4 x 11, 4 x 12, 4 x 13, 4 x 14, 4 x 15, 4 x 16, 4 x 17, 4 x 18, 4 x 19, 4 x 20, 4 x (más de 20), 5 x 5, 5 x 6, 5 x 7, 5 x 8, 5 x 9, 5 x 10, 5 x 11, 5 x 12, 5 x 13, 5 x 14, 5 x 15, 5 x 16, 5 x 17, 5 x 18, 5 x 19, 5 x 20, 5 x (más de 20), 6 x 6, 6 x 7, 6 x 8, 6 x 9, 6 x 10, 6 x 11, 6 x 12, 6 x 13, 6 x 14, 6 x 15, 6 x 16, 6 x 17, 6 x 18, 6 x 19, 6 x 20, 6 x (más de 20), 7 x 7, 7 x 8, 7 x 9, 7 x 10, 7 x 11, 7 x 12, 7 x 13, 7 x 14, 7 x 15, 7 x 16, 7 x 17, 7 x 18, 7 x 19, 7 x 20, 7 x (más de 20), 8 x 8, 8 x 9, 8 x 10, 8 x 11, 8 x 12, 8 x 13, 8 x 14, 8 x 15, 8 x 16, 8 x 17, 8 x 18, 8 x 19, 8 x 20, 8 x (más de 20), 9 x 9, 9 x 10, 9 x 11, 9 x 12, 9 x 13, 9 x 14, 9 x 15, 9 x 16, 9 x 17, 9 x 18, 9 x 19, 9 x 20, 9 x (más de 20), 10 x 10, 10 x 11, 10 x 12, 10 x 13, 10 x 14, 10 x 15, 10 x 16, 10 x 17, 10 x 18, 10 x 19, 10 x 20, 10 x (más de 20), 11 x 11, 11 x 12, 11 x 13, 11 x 14, 11 x 15, 11 x 16, 11 x 17, 11 x 18, 11 x 19, 11 x 20, 11 x (más de 20), 12 x 12, 12 x 13, 12 x 14, 12 x 15, 12 x 16, 12 x 17, 12 x 18, 12 x 19, 12 x 20, 12 x (más de 20), 13 x 13, 13 x 14, 13 x 15, 13 x 16, 13 x 17, 13 x 18, 13 x 19, 13 x 20, 13 x (más de 20), 14 x 14, 14 x 15, 14 x 16, 14 x 17, 14 x 18, 14 x 19, 14 x 20, 14 x (más de 20), 15 x 15, 15 x 16, 15 x 17, 15 x 18, 15 x 19, 15 x 20, 15 x (más de 20), 16 x 16, 16 x 17, 16 x 18, 16 x 19, 16 x 20, 16 x (más de 20), 17 x 17, 17 x 18, 17 x 19, 17 x 20, 17 x (más de 20), 18 x 18, 18 x 19, 18 x 20, 18 x (más de 20), 19 x 19, 19 x 20, 19 x (más de 20), 20 x 20, 20 x (más de 20), o (más de 20) x (más de 20). Los paneles pueden ser de cualquier tamaño apropiado, por ejemplo, 2,5 cm x 2,5 cm (1 x 1 pulgadas) o más pequeño, 7,6 cm x 7,6 cm (3 x 3 pulgadas), 15,2 cm x 15,2 cm (6 x 6 pulgadas), 30,5 cm x 30,5 cm (12 x 12 pulgadas), 45,7 cm x 45,7 cm (18 x 18 pulgadas), o 61 cm x 61 cm (24 x 24 pulgadas), o más grande. Los paneles pueden ser de una o más de entre formas cuadrada, rectangular, triangular, hexagonal u otras diferentes. De preferencia, cada panel contacta a tope con un panel adyacente con el fin de minimizar el espacio no emisor; sin embargo, en ciertas realizaciones, puede ser aceptable un cierto grado de separación entre paneles, de tal manera que, por ejemplo, pueden emplearse emisores circulares o, por ejemplo, los emisores cuadrados pueden separarse entre sí. Un ejemplo de conjunto geoméricamente ordenado adecuado es un conjunto geoméricamente ordenado de 2 x 12 paneles cuadrados de 0,3 m (un pie).

20 Si bien, en ciertas realizaciones, puede emplearse en el emisor un semiconductor (por ejemplo, de carburo de silicio, fibra de carbono no orientada, nitruro de boro dopado) alargado (por ejemplo, bobinado, recto, tubular o con otras estructuras en una configuración de guía de ondas) o conductores de resistencia (por ejemplo, de hierro-níquel), en una realización particularmente preferida, los paneles incluyen, como emisor, un alambre de serpentina. Una ventaja de la configuración de serpentina es que no tiene la elevada resistencia presentada por bobinas que están separadas entre sí. De acuerdo con ello, la mayor parte de la energía es emitida como radiación de la longitud de onda deseada. Las bobinas están separadas entre sí para minimizar la resistencia, y se emite energía radiante dentro de un espacio «emparedado» unido, por su cara superior, mediante la cerámica de alta densidad, que tiene una permisividad muy baja y, esencialmente, redirige la energía reflejada desde el alambre de serpentina hacia abajo.

25 En el lado inferior de los alambres, que puede, ventajosamente, estar encastrado dentro de un soporte o ser autoportante, se encuentra un delgado panel micáceo. El grupo de la mica de los minerales de silicato laminares (filosilicato) incluye varios materiales estrechamente relacionados que tienen una exfoliación o división basal cercana a la perfección. Todos ellos son monoclinicos, con una tendencia hacia los cristales pseudo hexagonales, y son similares en cuanto a su composición química. La exfoliación casi perfecta, que es la característica más notoria de la mica, se explica por la disposición a modo de lámina hexagonal de sus átomos. La mica u otros materiales que

exhiben propiedades micáceas pueden incluir un número más grande de capas que crean birrefringencia o trirrefringencia (birrefringencia biaxial). La birrefringencia es la propiedad óptica de un material que tiene un índice de refracción que depende de la polarización y de la dirección de propagación de la luz. Se dice que estos materiales ópticamente anisótropos son birrefringentes. La birrefringencia es, a menudo, cuantificada por la diferencia máxima de índices de refracción dentro del material. La birrefringencia se utiliza, también, a menudo como sinónimo de doble refracción, esto es, la descomposición de un rayo de luz en dos rayos cuando pasa a través de un material birrefringente. Los cristales con estructuras cristalinas anisótropas son, a menudo, birrefringentes, así como los plásticos sometidos a tensión mecánica. La birrefringencia biaxial describe un material anisótropo que tiene más de un eje de anisotropía. Para tal material, el tensor n de índice de refracción tendrá, en general, tres valores propios, o *eigenvalores*, que pueden designarse como n_α , n_β y n_γ . La energía, tanto radiante como de conducción, procedente del alambre de serpentina es transmitida al elemento micáceo. Pueden emplearse las características birrefringentes del material micáceo para transmitir un subconjunto de longitudes de onda generadas por el alambre de serpentina, al tiempo que se eliminan por filtrado otras longitudes de onda. El emisor de cierta realización emplea una funda de acero inoxidable que protege de sufrir daños el material micáceo. Esta funda conductora transfiere la energía sin ningún traslado o desplazamiento significativo de las longitudes de onda. Al emplear esta combinación de componentes (por ejemplo, alambre de serpentina, material micáceo, funda de acero inoxidable), la energía generada por el alambre de serpentina, con una longitud de onda de pico de aproximadamente 2 micrómetros, puede ver trasladada la longitud de onda de pico a de aproximadamente 20 micrómetros. Puede utilizarse, ventajosamente, una longitud de onda desde 10 micras o menos hasta 100 micras o más, por ejemplo, de aproximadamente 20 micras, en asociación con aplicaciones de asfalto, a fin de mejorar las características del asfalto. El espesor u otras características del material micáceo pueden ajustarse para proporcionar una longitud de onda o intervalo de longitudes de onda de objetivo, o pretendidas, a la superficie.

En una realización particularmente preferida, el dispositivo tiene unas dimensiones entre cavidades de 0,61 m (2 pies) de ancho por 3,66 m (12 pies) de largo, y se ha configurado de manera similar a un capó, en cuyo interior se monta un aislamiento cerámico. Los elementos emisores son, ventajosamente, de 0,3 m por 0,3 m (1 pie por 1 pie). Por ejemplo, puede configurarse un dispositivo de 0,61 m (2 pies) de ancho de manera que sea de 2 elementos de ancho por 12 elementos de largo, para un total de 24 elementos. Tales elementos pueden tener una densidad de vatios de aproximadamente 2,17 vatios por centímetro cuadrado (14 vatios por pulgada cuadrada), a toda la energía, y son susceptibles de ser alimentados por, por ejemplo, un generador que puede entregar 250 kW. Un ejemplo de dispositivo portátil adecuado para su uso a la hora de reparar pavimento asfáltico se representa en la Figura 3A y en la Figura 3B.

En algunas realizaciones, un conjunto emisor puede comprender un bastidor estructural, una fuente de energía, un mecanismo de interrupción de la energía, un emisor de radiación electromagnética y un sistema de colocación. El conjunto emisor puede ser de varios m (pies) de ancho, varios m (pies) de largo y varios m (pies) de alto. En algunas realizaciones, el conjunto emisor es aproximadamente de 3,66 m (12 pies) de ancho, 2,43 m (9 pies) de largo y aproximadamente 0,61 m (2 pies) de alto. El conjunto emisor puede ser de otros tamaños también, y el alcance de la invención no está limitado por el tamaño del conjunto emisor. El bastidor puede soportar uno o más de los otros componentes.

El bastidor puede comprender miembros estructuralmente adecuados tales como soportes de metal, vigas, raíles u otras estructuras semejantes. El bastidor puede haberse configurado para evitar una deformación significativa cuando se está utilizando o en su transporte. El bastidor puede haberse diseñado para soportar al menos parte del peso de los diversos componentes. En algunas realizaciones, el bastidor comprende una o más vigas. Las vigas pueden comprender un metal, madera u otro material que pueda soportar adecuadamente el peso de los componentes. Las vigas pueden comprender aluminio o acero y, en algunas realizaciones, puede resultar ventajoso utilizar un material que sea tanto ligero como resistente. Pueden haberse dispuesto una o más vigas a cada lado del bastidor y en cada extremo del bastidor. Las vigas situadas en el lado pueden ser unidas verticalmente a través de ménsulas, placas u otros mecanismos de fijación. Las piezas pueden ser soldadas entre sí, o bien pueden utilizarse pernos para unir las piezas. Una o más vigas pueden atravesar el bastidor de uno de los lados al otro lado, o de delante atrás, y pueden haberse configurado para procurar soporte o un mecanismo de fijación a otros componentes. Una o más vigas que atraviesan el bastidor pueden haberse dispuesto cerca del fondo del bastidor, de tal manera que uno o más de los emisores de radiación electromagnética pueden ser susceptibles de fijarse a las vigas. El bastidor puede fijarse a una o más ruedas, directa o indirectamente, lo que puede ayudar a la hora de transportar el bastidor.

En algunas realizaciones, el bastidor puede haberse configurado para evitar el doblamiento, el aflojamiento o el retorcimiento, incluso mientras atraviesa terreno irregular. El bastidor puede proporcionar una estructura robusta que da soporte a uno o más componentes del conjunto. Debido a que el conjunto puede ser utilizado en una variedad de entornos, puede ser ventajoso que el bastidor y el conjunto sean resistentes a la deformación y al deterioro cuando se están transportando y utilizando. Por ejemplo, el conjunto puede ser utilizado en vías rodadas que son irregulares. Puede resultar ventajoso el hecho de que el bastidor soporte el transporte sobre una superficie irregular. Como otro ejemplo, el bastidor y el conjunto pueden ser utilizados en exteriores, en emplazamientos remotos. Puede resultar ventajoso que el bastidor y el conjunto no solo sean resistentes a sufrir daños durante el transporte hasta el emplazamiento remoto, sino que también el bastidor y el conjunto sean resistentes a los efectos de las condiciones

meteorológicas mientras se encuentran en esa ubicación. Incluso en el curso de condiciones adversas y de un desplazamiento y transporte prolongados, puede resultar ventajoso que la superficie de fondo del bastidor permanezca a una distancia generalmente consistente de una calzada u otra superficie sobre la que puede colocarse el conjunto. Por lo tanto, el bastidor puede ser suficientemente robusto y resistente contra la deformación o los daños en una variedad de condiciones.

A fin de transportar el conjunto, el bastidor puede comprender un mecanismo de fijación que puede permitir remolcar el conjunto. En algunas realizaciones, el bastidor comprende anillos o enganches a un vehículo. El vehículo puede haberse configurado para tirar del conjunto en distancias cortas a lo largo de la vía rodada, o en distancias más largas para transportar el conjunto hasta el lugar de trabajo.

Una fuente de energía puede estar conectada, o ser conectable, a al menos parte del conjunto emisor. La fuente de energía puede comprender un generador y puede comprender un generador diésel u otra fuente de energía. La fuente de energía puede estar dispuesta en el conjunto emisor o puede ser conectable al conjunto. La fuente de energía puede formar parte de un segundo conjunto, susceptible de colocarse adyacente al conjunto emisor. La función de la fuente de energía puede ser proporcionar energía o electricidad a un dispositivo de distribución de potencia que puede estar situado en el conjunto emisor o en el bastidor. En algunas realizaciones, puede haberse dispuesto un generador eléctrico accionado por diésel sobre una plataforma o remolque móvil que puede ser conectable al conjunto emisor.

El dispositivo de distribución de potencia puede haberse dispuesto sobre al menos una parte del conjunto emisor y puede asentarse en al menos parte del bastidor. El dispositivo de distribución de potencia puede comprender uno o más interruptores de circuito u otros mecanismos de interrupción del aporte de potencia. El dispositivo de distribución de potencia puede haberse configurado de manera tal, que recibe potencia de la fuente de energía y la distribuye a uno o más paneles emisores de radiación electromagnética. En algunas realizaciones, el dispositivo de distribución de potencia comprende una caja metálica y interruptores de circuito, que pueden ser similares a los encontrados en unidades de construcción comercial o residencial. El dispositivo de distribución de potencia puede ser conectado temporal o permanentemente al bastidor y, en algunas realizaciones, puede ser atornillado mediante pernos a una superficie del bastidor.

El bastidor puede dar soporte a uno o más emisores de radiación electromagnética. Los emisores pueden ser de aproximadamente 3,66 m (12 pulgadas) por 7,31 m (24 pulgadas), y puede haberse dispuesto más de un emisor en un módulo emisor. Pueden haberse dispuesto uno o más módulos en el conjunto emisor. En algunas realizaciones, el conjunto comprende seis módulos, de manera que cada módulo mide aproximadamente 1,22 m por 1,22 m (4 pies por 4 pies). En algunas realizaciones, cada módulo comprende múltiples paneles emisores. Los emisores pueden ser generalmente planos y pueden haberse dispuesto adyacentes a uno o más de otros emisores. Cada panel emisor puede, o no, contactar a tope con un segundo panel emisor. Cada panel emisor puede estar conectado eléctricamente, de forma directa o indirecta, con el mecanismo de interrupción de potencia, y puede estar conectado eléctricamente, en paralelo o en serie con otros paneles emisores.

Los módulos emisores pueden comprender una placa superior, y la placa superior puede estar dispuesta sobre las superficies superior y laterales. Los módulos pueden comprender, adicionalmente, una capa cerámica generalmente dispuesta por debajo de la placa superior. Un panel emisor puede estar dispuesto generalmente por debajo de la capa cerámica. Una conexión eléctrica desde el panel emisor hasta el mecanismo de interrupción de potencia puede desplazarse a través de la capa cerámica y a través de la semienvuelta de metal. El módulo puede haberse configurado de manera que emita radiación electromagnética en una dirección sustancialmente hacia abajo, y puede haberse configurado para impedir que se emita una cantidad sustancial de radiación electromagnética en una dirección hacia arriba. El módulo puede también limitar la cantidad de radiación electromagnética emitida hacia los lados. Puede resultar ventajoso limitar, al menos parcialmente, las emisiones de radiación electromagnética en algunas direcciones con el fin de evitar que se produzcan daños a personas situadas en las inmediaciones. Por otra parte, puede resultar ventajoso dirigir generalmente la radiación electromagnética en una dirección hacia abajo, de tal manera que la radiación es recibida por la superficie situada por debajo del conjunto emisor. Durante el uso, el conjunto emisor puede estar situado sobre una calzada u otra superficie, y la radiación electromagnética que se está emitiendo desde los paneles emisores puede ser dirigida a la calzada u otra superficie.

En algunas realizaciones, los paneles y/o módulos pueden ser separables de forma independiente del conjunto emisor. Puede resultar ventajoso tener la posibilidad de desconectar uno o más paneles o módulos emisores del resto del conjunto, a fin de reemplazar o reparar los paneles o módulos. Pueden existir, asimismo, otras ventajas de poder separar partes del conjunto. Los paneles o módulos pueden fijarse a una o más vigas del bastidor utilizando pernos u otros diversos mecanismos de fijación. En algunas realizaciones, los paneles son fijados mediante pernos a una viga que atraviesa el bastidor de delante atrás. Las vigas definen aberturas a través de las cuales es posible acceder a un perno u otro dispositivo de fijación. Pueden ser posibles otros métodos para fijar los paneles al bastidor o al conjunto, y el alcance de la invención no está limitado por el método de fijación de los paneles.

El conjunto emisor puede comprender un sistema de colocación que puede comprender partes del bastidor y ruedas. El sistema de colocación puede también comprender accesorios a través de los cuales puede unirse el conjunto emisor a una estructura de soporte, de tal manera que el conjunto emisor puede, al menos parcialmente, quedar

suspendido de la estructura. En algunas realizaciones, el conjunto emisor comprende cuatro ruedas, de tal manera que cada rueda está generalmente dispuesta en las esquinas del bastidor. Puede resultar ventajoso un mayor número de ruedas, tal como seis y ocho, u otro número, dependiendo del tamaño del conjunto emisor. Cada rueda puede estar unida a un soporte de rueda, y cada soporte de rueda puede haberse configurado para permitir ajustar de forma independiente la altura de la rueda con respecto al bastidor. El ajuste independiente de la altura de la rueda puede permitir que el conjunto emisor sea colocado de forma más precisa por encima de una calzada u otra superficie. Al tener la posibilidad de colocar de forma más precisa el conjunto emisor por encima de la superficie, la distancia entre el conjunto emisor y la calzada o superficie puede ser más uniforme, y, en algunas realizaciones, el conjunto emisor puede ser más eficaz y consistente a la hora de transmitir la radiación electromagnética desde los paneles emisores a la calzada o superficie.

El sistema de colocación incluyendo las ruedas, puede hacer posible que el conjunto se coloque en diversas posiciones y puede haberse configurado para permitir que el conjunto emisor sea transportado entre diferentes ubicaciones. En algunas realizaciones, el sistema de colocación puede permitir que el conjunto emisor sea trasladado por encima de la superficie antes, durante o después de su uso, ya sea continuamente, ya sea de forma discreta, dependiendo de las preferencias del usuario. Por ejemplo, el conjunto puede ser movido de forma continua a lo largo de la superficie mientras se está emitiendo radiación electromagnética desde los paneles emisores. O bien el conjunto puede emitir radiación electromagnética en una primera posición y, a continuación, el conjunto es movido hasta una segunda posición y, seguidamente, se emite radiación electromagnética adicional. El sistema de colocación puede hacer posible que el conjunto emisor sea trasladado en una dirección adelante y atrás, en una dirección de lado a lado, o que se haga rotar alrededor de un eje. El bastidor u otra parte del conjunto emisor, incluyendo el sistema de colocación, puede haberse configurado para permitir que el menos parte del bastidor se una a un vehículo de un modo tal, que el conjunto emisor pueda ser transportado entre ubicaciones. En algunas realizaciones, el conjunto puede haberse configurado para ser cargado en un dispositivo de transporte, tal como un remolque, que puede estar configurado para transportar el conjunto desde una primera ubicación hasta una segunda ubicación.

Un bastidor de red se ha fijado, preferiblemente, a las ruedas por el exterior del vehículo, a fin de permitir el ajuste del emisor dentro de la propia cavidad, o para permitir el ajuste de la altura del emisor sobre el pavimento. En una realización preferida, el emisor se proporciona dentro de una cavidad de aproximadamente 15,2 cm (6 pulgadas) de profundidad, y la altura de la superficie del emisor sobre la superficie del pavimento puede ser variada desde tan baja como la cuarta parte de 2,5 cm (1 pulgada) hasta tan alta como 2,5 cm (1 pulgada) o más. El emisor se coloca, preferiblemente, tan cerca de la superficie del pavimento como resulte práctico (por ejemplo, a < 2,54 cm (1 pulgada) o a < 0,15 cm (0,5 pulgadas), o a < 0,08 cm (0,15 pulgadas)), a fin de minimizar la pérdida de energía a través de la reflectancia y/o la refracción por la superficie del pavimento. Sin embargo, si la separación es demasiado próxima, las imperfecciones en la superficie del pavimento, o el hollín o los residuos de goma desprendidos, pueden provocar daños en el emisor.

En diversas realizaciones para aplicaciones de reparación de pavimento, puede emplearse un diseño de emisor en que múltiples unidades (por ejemplo, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 o 10, o más) están agrupadas entre sí. Por ejemplo, cuatro unidades, cada una de las cuales incluye un conjunto geoméricamente ordenado de 3 x 3 emisores, proporcionarán 3,34 metros cuadrados (36 pies cuadrados) de emisor. Cuatro unidades, cada una de las cuales incluye un conjunto geoméricamente ordenado de 4 x 6 emisores, proporcionarán 8,92 metros cuadrados (96 pies cuadrados) de emisor. Se prefiere, generalmente, emplear un metraje cuadrado de emisor que pueda ser soportado por un generador deseado. Se prefieren, generalmente, generadores de 250 kW, por cuanto proporcionan un buen equilibrio entre potencia y coste, si bien, en ciertas realizaciones, pueden emplearse generadores más grandes, por ejemplo, un generador de 300 kW. En lugar de un generador más grande, pueden emplearse dos o más generadores más pequeños para proporcionar una potencia adecuada para un tamaño preferido del conjunto geoméricamente ordenado. En una realización preferida, puede emplearse un generador de 250 kW para alimentar en energía un conjunto geoméricamente ordenado emisor de 9,29 metros cuadrados (100 pies cuadrados), que entrega 2,17 vatios / centímetro cuadrado (14 vatios por pulgada cuadrada). Pueden proporcionarse dos de tales generadores en el mismo vehículo tractor para alimentar en energía 22,23 metros cuadrados (250 pies cuadrados) de emisor. En la mayoría de aplicaciones de pavimentación, el ancho de la calzada que se ha de reparar es aproximadamente 3,66 m (12 pies), de manera que son deseables conjuntos geoméricamente ordenados de emisores o grupos de conjuntos geoméricamente ordenados de emisores que tienen una anchura de 3,66 m (12 pies) y una longitud suficiente para proporcionar una cantidad apropiada de energía a la superficie.

En funcionamiento, pueden emplearse circuitos y sensores para identificar los obstáculos existentes por debajo de la unidad emisora, por ejemplo, al detectar la energía reflejada o la acumulación de calor, y estos pueden ajustar la potencia entregada al emisor o la distancia entre el emisor y la superficie del pavimento. Otros sensores pueden detectar la presencia materia orgánica quemada; por ejemplo, un láser puede detectar el paso de una cierta cantidad de humo que pasa a través de su haz. Si se detecta una temperatura elevada, el emisor puede ser distanciado del pavimento, puede reducirse la potencia, o bien puede reducirse la velocidad a la que el emisor pasa por encima de la superficie. De forma similar, si la temperatura detectada es demasiado baja, la potencia del emisor puede ser incrementada, este puede ser distanciado de la superficie, o bien puede aumentarse la velocidad a la que el emisor pasa por encima de la superficie.

En cierta realización, la lanzadera de calor pasa por encima del pavimento, volatiliza los componentes que no son VOC y lleva la humedad contenida en el pavimento hasta la superficie, con lo que caldea la masa de pavimento. El pavimento se deja entonces enfriar hasta una temperatura preferida para su compresión, momento en el cual un rodillo vibratorio se hace pasar por encima de la superficie. Una ventaja del sistema es que prácticamente no se produce nada de humo mientras se hace funcionar el sistema. El pavimento resultante tiene una densidad similar a la de pavimento nuevo, pero incorpora elastómeros duraderos que le confieren propiedades de comportamiento superiores.

Otra ventaja del sistema es que la composición de elastómero puede ser formulada de manera que incluya un adhesivo susceptible de ser retirado, que no pierde su cohesión interna (pegajosidad) con el tiempo. Una calzada reparada utilizando el sistema, que comienza a mostrar signos de desgaste (microfisuras o grietas) puede ser fácilmente reparado de un modo simple haciendo pasar la lanzadera de calor a lo largo y ancho de la superficie (por ejemplo, de 30 segundos a 2 o 3 minutos), y haciendo pasar, a continuación, un rodillo de compactación por encima de la superficie, que repara y vuelve a cerrar las grietas. En el caso de que apareciera una grieta en el pavimento que está comenzando a mostrar signos de desgaste, basta con hacer pasar la lanzadera de calor a través de la superficie. Un rápida pasada del dispositivo de 30 segundos, seguida de una pasada con rodillo, puede dar como resultado una reparación robusta de la grieta. Preferiblemente, tal tratamiento de calentamiento / pasada con rodillo se emplea aproximadamente cada entre tres y cinco años al objeto de mantener el pavimento en buen estado durante 20 años o más.

Al exponerlo a una temperatura de aproximadamente 121°C (250°F), el elastómero de la emulsión reactiva experimenta la formación de enlaces transversales, lo que genera una unión (entre agregado nuevo, entre agregado nuevo y pavimento antiguo, o entre porciones de pavimento antiguo) con la suficiente resistencia, de tal modo que puede aplicarse un rodillo vibratorio para calzada convencional sobre la parte superior de la superficie del pavimento, al objeto de proporcionar una superficie de circulación nueva. Durante el paso con rodillo, la compactación vibratoria vuelve a dar densidad a todos los defectos del lecho de la vieja calzada.

En algunas realizaciones, puede aplicarse elastómero adicional antes de la compactación vibratoria. El elastómero se aplica, preferiblemente, como un rociamiento que penetra dentro de la superficie de la calzada, rellenando las grietas y fisuras de un modo tal, que, cuando se produce el paso con el rodillo vibratorio, cohesiona adicionalmente el pavimento viejo consigo mismo, así como regiones entre el material nuevo y el material viejo.

El caucho, por ejemplo, un relleno de neumático triturado, es un material que se emplea comúnmente en pavimentos asfálticos. Se trata de un material altamente absorbente de la energía. Si absorbe demasiada energía demasiado rápidamente, se convertirá en una fuente de combustión y podrá dañar la unidad emisora o emitir humos a la atmósfera. De acuerdo con ello, en algunas realizaciones, es deseable incluir un bucle de realimentación en cada panel emisor (por ejemplo, un panel cuadrado de 0,3 m (1 pie)) de un conjunto geoméricamente ordenado, a fin de supervisar de manera continua la densidad de potencia en el ajuste concreto del emisor y su efecto en el pavimento. Cada panel emisor puede hacerse funcionar de forma independiente con el fin de proporcionar una cantidad apropiada de energía a la superficie situada por debajo. Debido a que se emplea comúnmente revestimiento cauchutado como sellador de grietas en calzadas viejas, puede ser deseable tener tal control sobre cada panel emisor.

A fin de proporcionar una reparación satisfactoria del pavimento, ha de acometerse la presencia de irregularidades y defectos en la superficie, tales como grietas, fisuras, zonas bajas y defectos similares. Se prefiere, por lo común, retirar por barrido cualesquiera secciones transversales gruesas de suciedad, eliminar la vegetación y eliminar cualesquiera reflectores que haya en la calzada. La presencia de pintura de calzada, por ejemplo, pintura que se utiliza para las marcas o líneas de los carriles, no presenta generalmente ningún problema por lo que respecta al funcionamiento del emisor, siempre y cuando sea delgada y no contenga sustancias que puedan impedir un calentamiento uniforme. La pintura empleada en los pasos de cebra puede contener sustancias que impidan un calentamiento uniforme. En tales situaciones, las marcas de los pasos de cebra pueden ser eliminadas, el emisor puede hacerse funcionar de manera que no se desplace sobre las marcas, o bien el emisor se desconecta cuando pasa por encima de las marcas de paso de cebra (por ejemplo, se desconecta manualmente, o bien se desconecta de forma automática, cuando se detectan las marcas). Los pasos de cebra que comprenden una gruesa tira de plástico térmico colocada sobre el pavimento pueden impedir la consecución del aporte de energía al seno del pavimento profundo, y son, deseablemente, eliminados y reinstalados antes de la renovación del pavimento, o bien tales zonas son evitadas durante la renovación.

Las irregularidades y defectos de la superficie del pavimento pueden variar. Los sistemas de diversas realizaciones resultan particularmente adecuados para la reparación de pavimento cuarteado a modo de piel de cocodrilo. Sin embargo, en algunos casos, pueden resultar adecuados para reparar otros daños. Por ejemplo, en el asfalto envejecido, la superficie puede tener un aspecto y textura de hueso, o rugosa, en la que grandes rocas se han convertido esencialmente en islas que se alzan por encima de las partes más bajas del pavimento debido a que la roca fina se ha soltado. En algunos casos, pueden estar presentes fisuras o socavones que tienen, cada uno de ellos, una profundidad de hasta 5,08 cm (2 pulgadas) o más. Las irregularidades y defectos graves pueden, ventajosamente, repararse utilizando una combinación de piedra y elastómero formulado que pega la piedra consigo misma una vez que se ha curado. El elastómero se aplica a la superficie y, a continuación, se cura utilizando el

dispositivo emisor. En ciertas realizaciones, el revestimiento puede ser tan delgado como 3,78 litros o menos por cada 9,29 metros cuadrados (1 galón o menos por cada cien pies cuadrados) de piedra y elastómero esparcido sobre la superficie, por ejemplo, un revestimiento tan delgado como unas pocas milésimas de centímetro (unas pocas milésimas de pulgada). En ciertas realizaciones, puede elaborarse una mezcla de elastómero y agregado para formar un lodo frío que se esparce sobre la superficie con el fin de reemplazar el volumen sobre una calzada dañada o deteriorada, y, a continuación, se cura utilizando el dispositivo emisor. En tales realizaciones, puede llevarse a cabo una aplicación inicial de calor antes de que pueda aplicarse el emisor, por ejemplo, con llama abierta o con otra unidad de calentamiento según se describe en otros lugares de la presente memoria, que provoca una volatilización inicial de los materiales volátiles desde el lodo frío. Esto inicia un cierto grado de curado, a fin de evitar la adherencia del lodo a los neumáticos de la plataforma de remolque que tira del emisor. Alternativamente, los neumáticos, la unidad de impulsión y el dispositivo emisor se han configurado para abarcar la banda del pavimento que está siendo reparada.

En el caso de pasadas anchas y muy largas sobre autopistas, el uso del sistema puede minimizar el tiempo de ejecución, incluso en condiciones en las que se coloca y compacta material, debido al rápido curado que se observa. En tales realizaciones, puede esparcirse una superficie sin curar de piedra de varios tamaños y varias formulaciones de elastómero a lo largo y ancho de la superficie y, a continuación, se arrastra el dispositivo emisor por encima de ella, secando y calentando simultáneamente el adhesivo existente sobre la superficie, al tiempo que también se envía energía, a una longitud de onda diferente, profundamente al interior del pavimento, de tal manera que, sobre la base de la prescripción para la reparación, se consigue un curado simultáneo del material situado en la parte de arriba, conjuntamente con un calentamiento y una agitación hasta un estado homogeneizado del asfalto intersticial del pavimento, desde la superficie hasta una profundidad de 2,5 cm, 5,1 cm o 7,6 cm (1, 2 o 3 pulgadas), o más.

Seguidamente por detrás de la unidad emisora, puede emplearse un compactador una vez que se ha enfriado el pavimento. Temperaturas típicas tras el tratamiento con el emisor son aproximadamente 121°C (250°F). Una vez disipado el calor de manera tal, que la temperatura es de 82-88°C (180-190°F), puede aplicarse un rodillo compactador. Un rodillo de un único tambor o de dos tambores con capacidades vibratorias puede hacerse marchar a lo largo y ancho de la superficie para compactar los huecos que existen en el pavimento viejo, reduciéndolo básicamente a una densidad que es similar a la del pavimento virgen y compactando, adicionalmente, el nuevo material de manera que se aprietan y eliminan los huecos y las superficies irregulares del pavimento donde se ha colocado la emulsión aglomerante, el elastómero u otro material de reparación. Pueden aplicarse múltiples pasadas de rodillo, por ejemplo, dos, tres, cuatro o más pasadas. Tres o cuatro pasadas proporcionarán la densidad y la fusión uniforme entre las partículas que da como resultado una sección transversal del pavimento de gran durabilidad.

Un elastómero (al que se hace referencia también en la presente memoria como agente aglomerante, emulsión o una denominación similar) de ciertas realizaciones comprende, por lo común, cuatro componentes, y constituye una emulsión muy robusta que puede contener asfaltos de diversos puntos de reblandecimiento. El elastómero puede incluir también caucho de butilo, un polímero de estireno-butadieno-estireno (SBS –“styrene-butadiene-styrene”) y una resina biológica. El tipo de resinas biológicas, la concentración del polímero de SBS y el peso molecular del caucho de butilo empleado, conjuntamente con otros componentes de la mezcla, pueden equilibrarse para conseguir el conjunto que se desee de propiedades del sistema adhesivo en su forma curada. El elastómero puede, en ciertas realizaciones, emplearse como máscara para proteger el pavimento subyacente conforme este pasa por su ciclo de calentamiento desde la oxidación en la superficie, debido a que la temperatura es más alta en la superficie que cuando se desciende de manera profunda, cuando el sistema emisor es aplicado al pavimento. A fin de hacer que penetre la suficiente cantidad de energía hasta una profundidad tal, que se fluidifique el asfalto y se minimicen los puntos calientes, el elastómero puede actuar como máscara para evitar la oxidación del asfalto donde están presentes los puntos calientes.

Dependiendo de la naturaleza de los materiales presentes en el elastómero, puede producirse un efecto de separación de longitudes de onda en el elastómero, al igual que en el material micáceo, de tal modo que ciertas longitudes de onda se transmiten de forma preferente. El elastómero no tiene por qué ser un material orgánico puro; puede tener materiales como el dióxido de silicio u otros materiales que tengan una permisividad deseada a una longitud de onda particular, o propiedades birrefringentes o trirrefringentes. En algunas realizaciones, estos componentes están presentes en un volumen tan alto como el 50% en la composición de elastómero; sin embargo, en ciertas realizaciones, pueden emplearse, deseablemente, cantidades menores, por ejemplo, del 1% al 10% en volumen, o del 10% al 50% en volumen.

La permisividad relativa de un material bajo condiciones dadas refleja la medida en que este concentra las líneas de flujo electrostático. En términos técnicos, la permisividad relativa es la relación entre la cantidad de energía eléctrica almacenada en un material por una tensión eléctrica o voltaje aplicado, y la que se almacena en el vacío. Por ejemplo, la fuente de energía puede ser el emisor, el dispositivo de transmisión puede ser el medio a través del cual está pasando la energía del emisor, y la carga es lo que realmente sucede cuando la estructura molecular de las diversas sustancias absorbe la energía. El movimiento de energía desde el dispositivo emisor, a través del medio del pavimento, puede describirse en términos de la permisividad relativa del pavimento. Para metodologías destinadas a crear una longitud de onda de energía, se utilizan, por lo común, alambres con resistencia para el calentamiento, por ejemplo, alambres que comprenden hierro, aluminio, titanio, platino, etc., así como una variedad de otros materiales

que creen la resistencia de diseño. La resistencia al flujo de corriente eléctrica crea energía radiante que cae dentro de la anchura de banda desde un milímetro de longitud, en disminución hasta unos pocos micrómetros –la frontera entre los infrarrojos (IR) y las microondas–. Los materiales son calentados dependiendo de las cualidades absorbentes de los materiales polares, como el agua, que contienen. Existen ciertas anchuras de banda en la región IR que son altamente condensadas o captadas en el seno de la estructura de, por ejemplo, el agua, y se observa una rápida absorción de la energía (por ejemplo, un rápido aumento en términos de temperatura, como resultado de esa energía absorbida). La frontera entre IR y microondas puede considerarse la región que se encuentra entre el infrarrojo y lo que pueden considerarse microondas extremadamente cortas (por ejemplo, de 1 mm). En diversas realizaciones, es deseable que el emisor proporcione una cantidad sustancial de energía en esta región, por ejemplo, de 1 nm, 5 nm, 10 nm, 15 nm o 20 nm hasta 1, 2 o más milímetros, preferiblemente de aproximadamente 1.000 nm a aproximadamente 10.000 nm, dependiendo del asfalto / agregado que se vaya a calentar, o de 2 micras a 1 milímetro. Muchos materiales son sustancialmente transparentes a las microondas que tienen una anchura de banda que es inferior, dentro del intervalo de megahercios y kilohercios, que son longitudes de onda muy largas en comparación con el calentamiento por IR. Estas microondas penetran fácilmente en materiales que no tienen una elevada constante hidroeléctrica o una alta permeabilidad relativa. La transmisividad a las microondas de materiales comunes tales como los que se utilizan en la industria de la pavimentación u otras industrias es bien conocida o fácilmente averiguable por un experto de la técnica. Pueden, de la misma manera, determinarse la refracción y la reflexión que tienen lugar entre la superficie emisora y la superficie de la emulsión cuando esta se coloca encima del pavimento, a fin de conseguir un perfil de temperaturas deseado en el pavimento.

En una superficie de pavimento asfáltico que se pone en contacto con energía que tiene una longitud de onda de pico de entre aproximadamente 1.000 nm y aproximadamente 10.000 nm, o de hasta 20 micrómetros o más, dirigida contra la superficie, la presencia o ausencia de la emulsión sobre la superficie puede tener un profundo efecto en lo que respecta a cuánta energía es refractada, reflejada y transmitida por debajo de la superficie, a los intersticios del asfalto, a, por ejemplo, 7,6 cm (3 pulgadas) de profundidad. La refracción es el cambio en la dirección de una onda debido a un cambio en su medio. Se trata, esencialmente, de un fenómeno superficial. La refracción está fundamentalmente regida por la ley de conservación de la energía. El impulso debido al cambio de medio da lugar a la alteración de la fase de la onda, pero su frecuencia permanece constante. A medida que la energía se traslada del emisor a la superficie del pavimento, la velocidad del movimiento permanece igual, y la longitud de onda sigue siendo la misma; sin embargo, la onda incidencia es parcialmente refractada y parcialmente reflejada cuando incide en la superficie. La ley de Snell, a la que se hace referencia también como la ley de la refracción, es una fórmula que se emplea para describir la relación existente entre los ángulos de incidencia y de refracción. La refracción que tiene lugar en la superficie de separación o interfaz, por ejemplo, una frontera entre el aire y un sólido, puede exhibir un fenómeno al que se hace referencia como onda evanescente, de tal manera que las longitudes de onda a uno de los lados de la frontera son parcialmente reflejadas y parcialmente refractadas. En la frontera, la energía o longitudes de onda reflejadas pueden volver hacia atrás desde la sustancia, creando una colisión caótica de energía electromagnética que es, generalmente, un tercio de la longitud de onda. Ya sea para una fuente de energía de intervalo estrecho, tal como un láser, ya sea para una fuente de energía radiante de infrarrojos de intervalo ancho, que se acerca a la superficie de un sólido, se tiene la posibilidad de medir esta perturbación y predecir con un cierto grado de precisión cuánta energía es devuelta y cuánta es transmitida, lo que tiene su efecto en la cantidad de energía que es transmitida al seno del pavimento. Una ventaja de la emulsión sobre la superficie del pavimento es que trastorna o destruye la formación organizada de una onda que rebote hacia atrás sobre el pavimento, de tal manera que puede transmitirse más energía al seno del pavimento. El hecho de conocer la longitud de onda que es presentada al pavimento, la onda de evanescencia que se crea y la permisividad del material permite predecir y controlar las características de calentamiento del pavimento. La permisividad relativa es un número absoluto para la piedra, para el agua, para la atmósfera de los huecos existentes en el pavimento, y para el asfalto que se encuentra en los intersticios. Cuando se considera todo esto junto, es posible analizar qué efecto tiene una longitud de onda particular en su velocidad de movimiento a través del pavimento, por ejemplo, mediante el uso de sondas convencionales para determinar las cuantías de energía y los cambios en las longitudes de onda. Esto permite seleccionar el emisor y los materiales empleados en la emulsión de manera tal, que la longitud de onda de pico puede ser manipulada para maximizar la absorción de la energía por el pavimento, o agregado o emulsión asfáltica / emulsión asfáltica, al tiempo que se minimiza el consumo de energía a la hora de generar la radiación electromagnética. Por ejemplo, la longitud de onda puede ser manipulada hasta aproximadamente un milímetro, lo que es del orden de los terahercios. En este orden de magnitud, la profundidad de penetración para la cantidad de energía que se utiliza desde el generador se ve ampliamente mejorada, por lo que el consumo de energía se reduce.

Para una temperatura del emisor que es de 399°C (750°F), y para una temperatura de superficie intermedia, por ejemplo, de 1/3 de la longitud de onda por debajo de la capa de emulsión que es 13°C (55°F), en unos pocos segundos, debido a que es dependiente del tiempo, la temperatura justo por debajo de la superficie, por ejemplo, a un milímetro por debajo de la superficie, es 24°C (75°F). Desplazándose hacia abajo progresivamente en incrementos de entre 1,27 cm y 2,5 cm (entre ½ pulgada y 1 pulgada), puede analizarse la temperatura del emisor frente a la temperatura superficial, frente a la temperatura a diversas profundidades. Esta pérdida de potencia en profundidad, a medida que la energía se introduce en el pavimento desde la superficie irradiada, puede ser compensada manipulando la energía superficial, la densidad de vatios, la longitud de onda, los efectos de las trayectorias de las ondas evanescentes, así como la longitud de onda de la energía que pasa a través del pavimento, al objeto de aumentar la uniformidad del calentamiento desde la superficie hasta una profundidad

deseada (por ejemplo, 7,6 cm (3 pulgadas)). Como umbral superior de temperatura, es deseable evitar la formación de gases orgánicos, lo que indica que el material ha ido más allá del umbral de mantener su estructura molecular inicial. Si no es evidente la formación de gases, como se indica por la ausencia de humo, la potencia puede incrementarse; sin embargo, no es este el único factor que ha de considerarse. El otro factor es el deseo de minimizar la magnitud de potencia que se necesita para obtener la energía tan profundamente como se necesita que esté (por ejemplo, como puede determinarse caracterizando cuán profundamente se encuentran los huecos que forman parte de las fallas que hay en el pavimento, de tal modo que pueda determinarse cuánto tiempo ha de permanecer la unidad sobre un cierto punto con una configuración particular, para llegar a esa profundidad). Ha de conseguirse también una temperatura tal, que, cuando se aplica un rodillo al pavimento calentado, este se fluidifica y será comprimido para eliminar los huecos, con lo que se consigue una densificación y homogeneización del pavimento reparado incrementadas.

Por lo que respecta a la permisividad relativa, la del agua, por ejemplo, es 80 veces más alta que la de la roca, que es 7. La permisividad relativa del asfalto es similar a la del agua –de 60 a 70 veces más alta que la de la roca–. La roca puede considerarse sustancialmente transparente a las microondas. Esto significa que el 95% de la sección transversal del pavimento es esencialmente transparente a las longitudes de onda milimétricas. Haciendo referencia, otra vez, a la ley de Snell, cuanto más oblicuo sea el ángulo de la radiación que llega a la superficie desde su zona limítrofe (incidencia en ángulo crítico), más alta será la refracción y más alta, la reflexión. El ángulo de incidencia de la radiación puede, por tanto, ser manipulado para ajustar la cantidad de energía que es transmitida. La longitud de onda infrarroja lejana-de microondas cercanas va a interactuar con la interfaz de una superficie sólida en un ángulo mucho más directo, de tal manera que, para un material transparente a las microondas como la piedra, puede ser deseable para el calentamiento (véase, por ejemplo, la TABLA 2) algo de energía de IR que es rápidamente absorbida por el agregado de los intersticios.

En diversas realizaciones, es deseable trasladar la energía desde la superficie emisora hasta 2,5 cm, 5,1 cm o 7,6 cm (1, 2 o 3 pulgadas) de profundidad en el pavimento en el lapso más corto de tiempo, sin destruir o dañar de otro modo, de manera significativa, los materiales de la región superior. El sistema emisor puede conseguir que esto sea posible. En contraposición, el calentamiento con propano de llama abierta, prendido con gas, que genera fundamentalmente radiación IR, por ejemplo, con una longitud de onda de pico incontrolada, da como resultado un exceso de calentamiento superficial –con humo que se desprende del pavimento, lo que indica la destrucción de constituyentes orgánicos del pavimento, tales como caucho o asfalto–. Los pesos moleculares de los componentes pueden verse negativamente afectados, lo que hace que las partes dañadas pierdan resistencia al agua, capacidad adherente y otras propiedades deseables. El sistema emisor también permite obtener de costes de combustible reducidos, en comparación con los sistemas de combustión convencionales, los cuales no resultan prácticos a la hora de sintonizar la longitud de onda de pico mediante ajuste, por ejemplo, las mezclas de aire / combustible, y son extremadamente eficientes en términos de consumo de potencia por unidad de energía transmitida al pavimento.

La estructura compuesta del pavimento tiene el 95% de agregado que exhibe transparencia a las microondas, mientras que del 75% al 78% del 5% que resta se da en la forma de moléculas polares que se ven drásticamente afectadas por el contacto con la radiación IR lejana-de microondas cercanas. Durante el uso, se enciende el emisor y se arrastra a lo largo y ancho del pavimento. Todo el continuo de las longitudes de onda, y el modo como la energía se está desplazando a través del pavimento, es en un estado de flujo, lo que significa que algunas moléculas de agua se perderán del sistema. Esto modifica la posibilidad de que se produzca una onda evanescente, ya que las estructuras polares que se encuentran en la emulsión son eliminadas por evaporación, lo que afecta a la transmisión de energía. Además de ello, se almacena energía en el seno de la roca y en los intersticios del asfalto, lo que también modifica el modo como la energía se desplaza a través del sustrato. Es, por tanto, deseable tener un sistema configurado para hacer un seguimiento de tales condiciones, y que también pueda utilizar realimentación sobre el modo como diferentes densidades de vatios, diferentes emisores, y cambios en los componentes que se emplean en la emulsión, pueden maximizar el uso de la energía al tiempo que minimizan los posibles daños al pavimento durante la homogeneización de los intersticios hacia abajo, a 2,5 cm, 5,1 cm o 7,6 cm (1, 2 o 3 pulgadas) de profundidad, y al tiempo que minimizan el consumo de energía.

Analizando los datos obtenidos de experimentos con diferentes materiales de y diferentes composiciones de emulsión, pueden construirse emisores que trabajan bien con pavimentos de hormigón asfáltico convencional y que consumen menos del 20% de la potencia de los calentadores que se utilizan convencionalmente para calentar el pavimento, o incluso menos energía (por ejemplo, el 5%). Tales métodos convencionales incluyen la quema de gas propano líquido utilizando una manta cerámica, o la llama abierta, más sofisticada, o bien sistemas de gas catalizado.

En una realización, la emulsión incluye un material birrefringente o trirrefringente, y se proporciona en la forma de una película prefabricada. La película se desenrolla sobre la superficie del pavimento, por ejemplo, desde un carrete, y, a continuación, el sistema emisor es desplazado sobre la parte superior, lo que deja una superficie sellada. Es deseable evitar aportar demasiada energía al interior de puntos aislados del pavimento en que la energía es absorbida rápidamente, por ejemplo, debido a la elevada permisividad del asfalto, del agua o de otro material orgánico, tal como el asfalto cauchutado. Esto puede tener un efecto negativo en la estructura molecular del elastómero. El elastómero comienza a fundirse y a fluir sobre la superficie del asfalto, de tal manera que se evita la eliminación por soplado del agua u otras sustancias volátiles. Esto da como resultado un procedimiento de

reparación con una cantidad nula (definida por la EPA como de menos del 1%) de carbono orgánico volátil (VOC – “volatile organic carbon”–).

5 Los sistemas emisores generan, por lo común, aproximadamente el 0,1% de VOC, lo que es altamente deseable desde un punto de vista medioambiental y superior a muchos procedimientos convencionales que generan humo y liberan grandes cantidades de VOC.

10 Puede revestirse roca o agregado muy fino con elastómero, y el elastómero puede ser curado previamente. Puede entonces colocarse la roca, que sirve como portador del elastómero, debido a su naturaleza seca, de libre fluencia. Al flamear previamente el elastómero sobre una piedra, por ejemplo, en una planta, es posible minimizar la cantidad de energía que hay que utilizar sobre el terreno. Semejante mezcla ofrecería ventajas sobre el asfalto mezclado en frío, en términos de facilidad de manejo sobre el terreno. El material es previamente desecado, trasladado a un lugar de trabajo, esparcido y, a continuación, calentado utilizando el sistema emisor para obtener como resultado una superficie de pavimento de hormigón asfáltico de calidad.

Oligopolimerización

15 En algunas realizaciones, la radiación emitida por la lanzadera de calor puede, opcionalmente, ser modulada con el fin de emitir al menos algo de radiación en la región de IR lejano-microondas cercanas, además de la radiación de longitud de onda de pico de entre 1.000 nm y 10.000 nm que se emplea para calentar el pavimento o el agregado, o la emulsión asfáltica. Esto concentra el calor en el asfalto existente entre el agregado, en lugar de en el propio agregado, lo que esencialmente precalienta el asfalto. Esto caldea y altera de un modo eficiente las moléculas polares del asfalto en los huecos e intersticios del pavimento, sin que se produzca una deshidrogenación del asfalto.

20 El revestimiento asfáltico dúctil de aproximadamente 100 μm sobre la superficie de roca se hace turbulento y se mezcla, por tanto, con las moléculas de cadena más corta y quebradiza que ocupan un volumen situado más allá de 100 μm con respecto a la superficie de piedra. El procedimiento puede también ser empleado para polimerizar oligómeros (aproximadamente de 2 a 150 unidades repetidas) y otras cadenas poliméricas rotas del asfalto envejecido, haciendo que estas se enlacen para formar cadenas más, con lo que se mejora la ductilidad. Puede hacerse referencia a este proceso como oligopolimerización, y este puede ser utilizado en un procedimiento de homogeneización por medio de la oligopolimerización de asfalto líquido. Ensayos fundamentales indican que el pavimento así tratado es equivalente, en tanto como el 95% (o incluso más, en ciertas circunstancias), al agente aglomerante de asfalto virgen que se encuentra originalmente en el pavimento, en términos de resistencia a la compresión, resistencia a la compresión flexional y resistencia a la cizalladura, en comparación con el mero calentamiento sin oligopolimerización. La radiación infrarroja pasa a ser radiación de microondas a una longitud de onda de aproximadamente 1 milímetro. Cuando la longitud de onda se hace más corta que 1 milímetro, la radiación se considera infrarroja lejana. La radiación del orden de terahercios, también denominada radiación submilimétrica, ondas de terahercios o THz, es radiación electromagnética con frecuencias entre la frontera de alta frecuencia de la banda de ondas milimétricas, 300 gigahercios (3×10^{11} Hz), y la frontera de baja frecuencia de la banda de luz infrarroja lejana, 3.000 GHz (3×10^{12} Hz). Las longitudes de onda correspondencias de radiación dentro de esta banda oscilan entre 1 mm y 0,1 mm (o 100 μm). Debido a que la radiación del orden de terahercios comienza en una longitud de onda de un milímetro y prosigue hacia longitudes de onda más cortas, se conoce en ocasiones como banda submilimétrica, y su radiación, como ondas submilimétricas, especialmente en astronomía. La radiación del orden de terahercios ocupa un terreno intermedio entre las microondas y las ondas de luz infrarroja. Para inducir la oligopolimerización, es preferible emplear longitudes de onda de radiación desde 10.000 nm, 15.000 nm, 50.000 nm, 100.000 nm o 500.000 nm, hasta 1.000 μm o más, por ejemplo, de 15.000 nm a 1,1 mm, 1,2 mm, 1,3 mm, 1,4 mm, 1,5 mm, 1,6 mm, 1,7 mm, 1,8 mm, 1,9 mm, 2 mm, 2,5 mm, 3 mm, 3,5 mm, 4 mm, 4,5 mm o 5 mm, o más.

Comparación de sistemas de las realizaciones con el reciclado in situ y en caliente convencional (HIR)

45 Los sistemas de las realizaciones son métodos no invasivos de restaurar el pavimento hasta conferirle las más altas propiedades físicas posibles –propiedades superiores a las del pavimento reparado convencionalmente, de tal manera que el asfalto exhiba características similares a las del asfalto virgen («asfalto rejuvenecido») o mejores que estas–.

50 El reciclado in situ y en caliente (HIR –“Hot In-Place Recycle”–) es el método convencional de reparación de pavimento asfáltico envejecido y cuarteado a modo de piel de cocodrilo. El HIR se describe en detalle en el Capítulo 9 de la divulgación “Paviment Recycling Guidelines for State and Local Governments Participant’s Reference Book” (Directrices de reciclado de pavimento para el libro de referencia de participantes de gobiernos estatales y locales), Publicación N° FHWA-SA-98-042, publicada en diciembre de 1997 por el Departamento de los EE.UU. de Administración de Autopistas Federales para Transporte (U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration). Prácticamente todo el calentamiento de pavimento que se emplea en este método de reconstrucción / mantenimiento se sirve de una fuente de energía de LPG o NO. En los procedimientos de calentamiento con fuentes de energía de LPG o NO, el gas se mezcla con aire y se lleva a ignición dentro de una cubierta exterior. La mezcla y la ignición pueden desplegarse en forma de llama abierta o pueden controlarse dentro de un tubo o emisor de manta cerámica. Ya sea con llama abierta, ya sea dentro de una cámara controlada, la temperatura superficial se encuentra, generalmente, por encima de 816°C (1.500°F), de manera que se emite en una anchura de banda electromagnética que es menor de 2.000 nm (2,0 micras). En el caso de que la combustión se retarde por medio de

un catalizador, la(s) temperatura(s) del emisor puede(n) caer hasta tan bajo como 316°C (600°F) y exhibir una anchura de banda tan larga como 100 micras. Si bien el uso de una llama catalizada con una longitud de onda más larga sería beneficioso para caldear de forma más efectiva un asfalto envejecido, los humos del proceso contaminarían rápidamente la naturaleza química del catalizador, lo que lo haría poco efectivo.

- 5 Si bien la tecnología de flameo con gas (GFT –“gas fired technology”–) y el calor eléctrico producido con generador diésel y procedente de un emisor gastan btu [unidades térmicas británicas –“British Thermal Units”–] casi equivalentes de consumo de combustible por unidad de vatio entregado, el control tangible de la frecuencia de emisor del sistema emisor maximiza la absorción de energía por la superficie calentada; resulta de ello una reducción de hasta cinco veces en la cantidad de btu consumida, en comparación con los emisores de flameo con gas, para conseguir el mismo incremento de temperatura / unidad de masa.

10 La poca cantidad de humo o la ausencia de este está asociada con el funcionamiento del emisor durante el ciclo de calentamiento del pavimento, puesto que la temperatura de la superficie del pavimento puede ser cuidadosamente regulada de manera que no exceda una temperatura «de humo azul». En contraste con esto, la GFT ha de sobrecalentar la temperatura superficial (a menudo, > 149°C (300°F) –ampliamente por encima de un umbral «de humo azul»–) para aportar energía de forma suficientemente profunda (entre 3,8 cm y 5,1 cm (entre 1,5” y 2,0”)) para conseguir una temperatura de reblandecimiento por debajo de la superficie de al menos 93°C (200°F), por lo que se facilita la escarificación del HIR y/o el aplanamiento de la superficie superior del pavimento. La práctica de activar y desactivar la GST como método para regular la temperatura en exceso de la superficie del pavimento, constituye un método comercial para minimizar la ocurrencia de emisiones «de humo azul», si bien la reiteración continua de la subida en rampa desde el modo «desactivado» aumenta sustancialmente los costes de consumo de combustible y la generación de CO₂ de la unidad de calentamiento.

25 Esta ventaja de la emisión mediante aire por lo que respecta a la generación de «humo azul», combinada con la cantidad extra de combustible que se ha de utilizar para caldear el pavimento con la absorción de energía radiante no discreta reducida, tiene como resultado un incremento de al menos ocho veces en las emisiones de CO₂ con la GFT, en comparación con la tecnología de emisor de las realizaciones.

30 Son menos probables las quemaduras de los operarios con la tecnología de emisor de las realizaciones que con la tecnología de flameo con gas. No existen explosiones con la tecnología de emisor de las realizaciones, pero estas son siempre un riesgo significativo cuando se trabaja con gas inflamable, como en el procedimiento de GFT. El equipo eléctrico del estado de la técnica que se emplea en el sistema de emisor evita que los trabajadores se vean expuestos a descargas eléctricas.

35 Los procedimientos de GHT / HIR y/u otros dispositivos eléctricos de IR de longitud de onda corta sobrecalientan inevitablemente y aceleran la oxidación del asfalto superficial durante el procedimiento de reparación de la superficie de calzada vieja, al alterarlo, mezclarlo con nuevo material y cubrirlo. La tecnología de emisor de las realizaciones obtiene el resultado de un calentamiento «suave» y regulado, que evita que se produzca dicha oxidación acelerada. Una preparación más exhaustiva de la superficie elimina el efecto de adulteración de la suciedad y los residuos orgánicos, por lo que se reduce sustancialmente la necesidad de cualquier escarificación de la superficie de la calzada vieja, ya que la compactación vibratoria del nuevo material superpuesto «mezcla» adecuadamente estos dos sustratos en un bloque monolítico fundido, uniforme y de altas propiedades.

40 Un nuevo alzado aplicado de un material compuesto que comprende AROS™ u otro caucho de neumático triturado, resina biológica enriquecida, un monto de alto contenido en carbono y piedra, instalado a modo de lodo de proceso en frío o asfalto de mezcla en frío, puede ser fundido por completo con la superficie de calzada ya existente, activamente térmicamente, sin que se produzcan los efectos dañinos de las elevadas temperaturas en la química del agente aglomerante. Los materiales añadidos a la GFT se ven inevitablemente expuestos a temperaturas más elevadas y a menudo más difíciles de regular, lo que oxida prematuramente la naturaleza química. En consecuencia, cabe esperar que la restauración de la superficie final y de la superficie de calzada subyacente lleve un tiempo significativamente más largo.

Características del pavimento tratado sobre el terreno

45 La vida frente a la fatiga y la vida frente a tensiones son propiedades de los pavimentos asfálticos. La tensión es una fuerza por unidad de área. La deformación es la distorsión causada por la tensión. La vida frente a la fatiga es el número de ciclos de tensión de un carácter especificado, antes de que un espécimen o sistema sufra un fallo de una naturaleza especificada. La curva de vida frente a tensiones representa gráficamente la interrelación que existe entre una cuantía e intervalo de tensiones específicas de un sistema y el producto de deformaciones que se le imparte con ello; de ello resulta una predicción temporal para el fallo del sistema. De acuerdo con ello, estas mediciones son de interés a la hora de determinar la vida útil o vida de servicio del pavimento.

55 La Administración Federal de Autopistas (FHWA –“Federal Highway Administration”–) ha establecido que las buenas prácticas en el diseño de las autopistas utilizarán agregado que se adecue a bandas y porcentajes de gradación prescritos por la «curva de potencia de 0,45», y que deberán llevarse a cabo cuatro categorías específicas de ensayos en estas gradaciones. Estos ensayos evalúan la piedra en cuanto a: 1) su dureza y resistencia a la

abrasión, 2) su durabilidad y estado saludable, 3) su angularidad y 4) la presencia de minerales que no se consideren, de otro modo, como singularidades de agregado, también conocidos como «equivalencias de arena». La nomenclatura para el agregado divide la roca que no pasa por una criba del nº 8 como gruesa, y la que pasa, como «partículas finas». En masa, para pavimento de mezcla en caliente y gradación densa, la curva de potencia de 0,45 muestra que aproximadamente el 50% del agregado son partículas finas, y el 50% es agregado grueso. El agregado grueso ha logrado pasar por el procedimiento de machaqueo porque es mucho más duro que las partículas finas. Y es mucho más duro porque no tiene muchas microfisuras o pequeñas grietas que conducirían a la fractura bajo las elevadas presiones asociadas con las operaciones de machaqueo en receptáculo de la roca.

El requisito de ensayar el agregado por lo que respecta a su durabilidad y estado saludable se encamina a la detección de microfisuras en el agregado como punto débil para su durabilidad como calzada. El agua, que se abre camino dentro de tales fisuras durante la vida de servicio de la calzada, debilitará químicamente la piedra o se congelará y la romperá en fragmentos. Por lo común, la piedra gruesa no se somete al ensayo. El ensayo de la durabilidad y estado saludable consiste en impregnar las «partículas finas» en una solución diluida de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio. La sal sulfato, al introducirse en la microfisura, se expande y produce un efecto similar al del hielo, con lo que se agranda la microfisura. Tras aclarar la piedra impregnada con agua fresca, un porcentaje de la piedra es eliminado por circulación. Si se pierde demasiada piedra en este proceso, entonces la piedra se descarta para su uso. La presencia de microfisuras en la mezcla de pavimento es un factor contributivo principal de la sensibilidad a la humedad y la degradación prematura por fatiga de la calzada. El procedimiento de homogeneización corrige en gran medida la presencia de estos vínculos débiles.

El asfalto está compuesto de dos fases. La fase continua comprende maltenos y la fase en suspensión comprende asfaltenos. Los maltenos son habitualmente de bajo contenido de carbono en masa y lineales en cuanto a la disposición molecular, con pesos moleculares de menos de 500. Los maltenos presentan grandes áreas de espacio molecular libre en proporción con el volumen de sus cadenas de hidrocarburos. Los asfaltenos son de mucho más elevado contenido de carbono y, de la forma más general, tienen un peso molecular que oscila entre 5.000 y 45.000. Los asfaltenos se encuentran fuertemente arrollados, con poco espacio molecular libre con respecto a su volumen molecular.

Se ha descubierto que los asfaltenos tienen propensión a comportarse como un condensador, almacenando electrones en su superficie. Esto es particularmente durante la incursión de longitud de onda IR corta, de alta temperatura, a que se somete el asfalto en la preparación de asfalto de mezcla en caliente, dentro de la región de 177°C a 204°C (de 350°F a 400°F). Este almacenamiento de electrones crea polaridad repulsiva entre partículas de asfalto altamente cargadas similares. Esta polaridad induce una segregación de fase parcial artificial de estas partículas de elevado peso molecular. Conforme el asfalto segregado parcialmente en fases artificiales se dispone revistiendo el agregado en la planta de mezcla de asfalto en caliente, este estado segregado queda fijado dentro de la línea delimitadora de la superficie de piedra rugosa. Este desequilibrio en el seno de las dos fases del asfalto que se crea en la planta de mezcla en caliente convencional, se convierte en un obstáculo permanente para una óptima compactación y durabilidad a largo plazo del agente aglomerante termoplástico. La segregación de fases es un obstáculo para la compactación. Un asfalto homogéneo se comporta como lubricante, lo que permite a la matriz de piedra deslizarse hasta alcanzar una compactación máxima, en tanto que un asfalto estratificado se comporta como un lubricante contaminado (por ejemplo, lleno de arenilla) y se resiste a la acción de deslizamiento necesaria para permitir que las superficies rígidas resbalen fácilmente hasta un encastre total. Años de ensayos han dado en verificar que una reducción tan pequeña como el uno por ciento en la densidad de huecos de aire en hormigón asfáltico de gradación densa puede mejorar su resistencia a la formación de roderas en más del 100%.

La segregación de fases es también un obstáculo para la resistencia a largo plazo a la oxidación, ya que la humedad atmosférica y la energía electromagnética trabajan permanentemente desprendiendo y reemplazando los átomos de hidrógeno más débilmente enlazados de las cadenas de hidrocarburos de la estructura de malteno. A medida que son desprendidos los átomos de hidrógeno, tanto la ductilidad como la resistencia cohesiva del asfalto se ven disminuidas, lo que conduce a la fragilización. Una dispersión uniforme de los asfaltenos, muy robustos, actúa atenuando esta acción de desprendimiento, ya que estos, por su naturaleza capacitiva, atraerán y almacenarán gran parte de la carga de energía aportada por el efecto combinado de las cargas rodantes, las cargas solares y el agua. Puede emplearse la tecnología de diversas realizaciones para volver a homogeneizar esta segregación de fases inducida en la planta de mezcla en caliente hasta obtener un alto grado de uniformidad. Esta restitución de la uniformidad de fase detiene la degradación acelerada por fatiga, consecuencia de la excesiva integridad estructural inducida por los huecos y la deshidrogenación electroquímica.

El asfalto se refuerza, por lo común, fundiendo caucho y otros modificadores poliméricos termoplásticos en el seno del bitumen, en la planta de mezcla en caliente, antes de disponer el agregado como revestimiento. Esta modificación polimérica se acompaña habitualmente por alguna forma de enlace transversal en el seno del modificador polimérico, a fin de desarrollar más completamente, al enfriarse, una red cristalina interconectada, en el seno de la cual puede estabilizarse el bitumen amorfo.

El revestimiento de agente aglomerante sobre la piedra en un ajuste en planta de mezcla en caliente, se encuentra en el intervalo entre 0,076 mm y 0,13 mm (entre 3 y 5 mils –milésimas de pulgada–). Por lo común, una vez colocada y compactada la piedra revestida, solo hay enlaces transversales en el seno del revestimiento, en cada

singularidad. Se produce una escasa formación de enlaces transversales posterior a la colocación, o ninguna en absoluto, entre las partículas revestidas individuales. La formación de enlaces transversales entre partículas, o externos, lleva a cabo su tarea de estabilizar el bitumen, pero, puesto que la posibilidad de formación de enlaces transversales internos en el seno de la superficie revestida del agregado compactado se ve desbaratada por: 1) la pérdida de movilidad conforme se enfría el agente aglomerante, mientras 2) se ve simultáneamente compartido entre nuevas posiciones relativas, la probabilidad de que pueda formarse cualquier cristalinidad estabilizadora es baja. Esta situación deja la transferencia de carga intersticial entre especies químicas recubiertas en una cuantía óptima disminuida. El calentamiento por emisor y la agitación dieléctrica proporcionan un entorno para corregir, al menos parcialmente, este estado, con una resistencia resultante mejorada a la degradación por fatiga.

5 El hormigón asfáltico falla a medida que su flexibilidad deja paso a una fragilización. La fragilización se produce cuando las cadenas de hidrocarburos de la fase continua de malteno se deshidrogenan por medio de una lisis excisión oxidativa. Es la combinación de la humedad atmosférica en forma de lluvia, niebla y nieve, multiplicada por la presencia de fenómenos de energía electromagnética sobrevenidos que acompañan a las cargas solares y mecánicas, lo que produce esta destrucción. La fatiga por fragilización en los 1,27 cm (media pulgada) superiores del pavimento se produce más rápidamente; a menudo, a entre dos y diez veces la rapidez de aparición de la fatiga por debajo de esa profundidad desde la superficie. No solo están las fuerzas oxidativas más concentradas por la acción desgarradora de los neumáticos, de los equipos de retirada de nieve y de los residuos de la superficie, sino que la carga solar directa en forma de luz solar y el viento imparten tensión en la superficie, con el resultado de un rápido desarrollo de grietas que conduce a la formación de socavones, largas fisuras y grietas en bloques, a lo que se hace referencia también como cuarteamiento a modo de «piel de cocodrilo».

10 La longitud de onda del emisor puede ser ajustada para que penetre de forma efectiva y rápida en esta región de corteza superior, alterando los efectos de estos factores tensores superficiales y, con ello, prolongando la curva de vida frente a tensiones aceptada para el deterioro superficial. Las secciones transversales del pavimento bajo esta corteza de los 1,27 cm (media pulgada) superiores experimentan un proceso oxidativo más lento pero, a menudo, más persistente. La humedad, que podría evaporarse rápidamente en la superficie, con lo que finalizaría su amenaza oxidativa, queda atrapada en los huecos inferiores del pavimento durante largos periodos de tiempo. Esta encapsulación le permite atacar, lenta pero persistentemente, la flexibilidad del agente aglomerante intersticial. Sin embargo, es de mayores consecuencias con respecto a la fatiga por humedad el ataque en la interfaz agente aglomerante-piedra, donde el contacto directo entre el agua y la plétora de emplazamientos de hidroxilo reactivo residente en todo agregado, tiene como resultado una rápida exfoliación del agente aglomerante.

15 A menudo, el pavimento «casi nuevo», o seminuevo (pavimento que se encuentra aún en sus tres primeros años tras la instalación), tiene una superficie de conducción superior, pero ha empezado a fragmentarse y a desmenuzarse a una profundidad entre 2,5 cm y 7,6 cm (entre 1 a 3 pulgadas). Esto es causado por el efecto exfoliador de la humedad atrapada, que se abre camino hasta la interfaz agente aglomerante-piedra y reacciona con los grupos hidroxilo de la superficie del agregado. La longitud de onda ajustable por el emisor, que penetra profundamente en el pavimento, puede interrumpir de manera no invasiva este proceso de degradación por fatiga acelerado, con lo que se prolonga significativamente la vida útil del pavimento.

20 El bombeo térmico es una expresión que describe el movimiento in situ del asfalto caliente, fluidificado, (a medida que se expande bajo una fuente de calor exterior) desde los confines de las microfisuras existentes en el seno del agregado fino del pavimento. Este agente aglomerante que habita en las cavidades fue absorbido en un principio durante la mezcla en la planta de mezcla en caliente, pero es inducido a salir y ocupar los huecos de aire intersticiales de la matriz del pavimento. Se ha demostrado que este asfalto, así como el asfalto que reviste las 100 primeras micras en espesor desde la superficie de piedra, no sufren cambios con respecto a su composición química cuando se instalaron inicialmente. El hecho de caldear y agitar, más reintroducir, estos depósitos vírgenes de agente aglomerante dúctil, altamente cohesionado, mediante el uso de anchuras de banda selectivas de energía que optimizan una respuesta bipolar, mejora significativamente la flexibilidad del hormigón asfáltico.

25 El agente aglomerante segregado en fases a todo lo largo y ancho de la matriz de hormigón asfáltico envejecido, es bañado con una anchura de banda de energía, suministrada por el emisor, que es de un factor dentro del intervalo entre 1.000x y 100.000x más larga que la anchura de banda emitida en IR cercano del calentamiento de llama abierta utilizado en plantas de mezcla en caliente convencionales. Este «suave» calentamiento con longitud de onda larga provoca una relajación dieléctrica de los asfaltenos, lo que les permite reintegrarse a una homogeneidad uniforme. Una vez que se ha restituido esta homogeneidad, el agente aglomerante se hace: 1) más resistente a la oxidación y 2) un lubricante muy superior de cara al deslizamiento de la roca bajo un esfuerzo recompactor.

30 La compactación vibratoria de una sección transversal de calzada tratada adecuadamente con emisor puede reducir de forma fiable las densidades de huecos de aire en un intervalo desde un típico 7% hasta un mejorado 4,5%-5%. Entre 2,5 cm y 7,6 cm (entre 1" y 3"), las temperaturas de núcleo que acompañan estos cambios de homogeneización se encuentran en el intervalo de 116°C a 149°C (de 240°F a 300°F). Sin este efecto lubricante, los intentos de compactación vibratoria pesada únicamente han demostrado romper la roca y dañar el pavimento. El hecho de volver a calentar el pavimento envejecido hasta temperaturas de núcleo de pavimento similares con calentadores de IR de longitud de onda corta no da como resultado esta respuesta beneficiosa significativa. La reducción de la densidad de huecos de aire no solo mejora la resistencia de los pavimentos a la aparición de roderas

mecánicas, sino que también aprieta los huecos a cuyo interior puede migrar la humedad. La fluidificación en la superficie de la roca mejora un remojo del agente aglomerante sobre la superficie de la roca, como resultado de la doble acción de incrementar la presión intersticial al efectuar la compactación, y de reaccionar como dipolo al campo electromagnético.

- 5 La preparación de pavimento de asfalto de mezcla en caliente (HMA –“hot mix asphalt”–) constituye una dinámica de CALENTAR + MEZCLAR + INSTALAR. Los métodos de ciertas realizaciones siguen una dinámica de MEZCLAR + INSTALAR + CALENTAR. Esta diferencia tiene un drástico efecto positivo en la prolongación de la vida frente a la fatiga, además de en las mejoras antes referidas, obtenidas mediante el uso de la tecnología de diversas realizaciones en el asfalto envejecido subyacente. El uso de sistemas adhesivos multiplica la efectividad del sistema a la hora de retrasar la degradación por fatiga de material nuevo, virgen y/o de una mezcla de pavimento viejo molido, aumentada por la mezcla con nuevo material virgen.

10 En adhesivo puede ser proporcionado en forma de una emulsión portada en agua. Se encuentran comercialmente disponibles numerosas versiones de la química en la Coe Polymer, Inc., de San José, California. La composición del líquido sobre agregado virgen se lleva a efecto, preferiblemente, mediante aporte por cinta transportadora o por tornillo de Arquímedes de un flujo medido de piedra gradada al interior de una amasadora de doble árbol en contrarrotación convencional, tras lo cual se rocía el adhesivo líquido a una velocidad predeterminada. A medida que la piedra húmeda y revestida sale de la amasadora, puede ser aportada directamente: 1) al interior de una máquina de pavimentación convencional y, con ello, colocada sobre la superficie receptora de la calzada, 2) al interior de un contenedor de almacenamiento de corto plazo, para su transferencia a un lugar de trabajo, 3) sobre un acopio para su almacenamiento o secado con aire, o 4) a través de un dispositivo de secado que elimina la humedad. La química del agente aglomerante puede ser ajustada para dar acomodo a un tratamiento satisfactorio bajo cualquiera de estos cuatro métodos de revestimiento de la piedra; se prefiere, generalmente el método 4).

15 Puede conseguirse un comportamiento adhesivo superior del asfalto con una química del agente aglomerante que: 1) moje por completo las irregularidades de la superficie de la piedra, 2) se enlace de forma covalente con todos los grupos –OH superficiales que se producen de forma natural, 3) al producirse la evaporación del agua, forme enlaces transversales de forma externa hasta alcanzar una insolubilidad absoluta, 4) siga siendo un termoplástico capaz de fluir por calor, pero que únicamente se convierte en plástico a temperaturas más elevadas que 93°C (200°F), 5) pueda ser aplicada a la piedra cuando se somete a deshidrogenación, pero que retiene, tras ello, una capacidad funcional suficiente para formar futuros enlaces transversales internos cuando se empaqueta fuertemente con otra piedra tratada de forma similar, 6) tras su colocación a través de un dispositivo de pavimentación, a fin de conseguir un doble enlace transversal por activación térmica o química, y 7) permanezca flexible a -18°C (0°F) al tiempo que sigue conservando su comportamiento termoplástico dentro del intervalo de rendimiento de temperaturas especificado. Con el fin de conseguir estas siete características, se ha concebido un procedimiento de dos revestimientos. Una parte adhesiva 1, con aproximadamente el 60% de contenido de sólidos, se aplica sobre la superficie de piedra virgen con un espesor de película mojada de aproximadamente 0,051 mm (dos mils –milésimas de pulgada–), conforme pasa a través de una amasadora; a continuación, es inmediatamente secada por volatilización y unida por enlaces transversales sobre la superficie inorgánica del agregado. En un funcionamiento en continuo, la especie química, ya desecada y provista de un fino recubrimiento, recibe la parte adhesiva 2, también con aproximadamente el 60% de sólidos, con una manera de aplicación y desecado similar, tras lo cual es entonces transferida para su almacenamiento. La parte adhesiva 1 mantiene su capacidad funcional reactiva, que inmediatamente forma enlaces transversales propios al contacto la parte adhesiva 2. La parte adhesiva 1 alcanza las características de comportamiento 1), 2), 3) y 4). La parte adhesiva 2 contribuye a alcanzar la característica de comportamiento 4), pero es la principal contribuyente de las características de comportamiento 5), 6), 7) y 8).

20 Tras la puesta en práctica del procedimiento anterior, la piedra revestida puede ser almacenada en acopios a granel de manera indefinida, sin que se adhiera a sí misma a la temperatura ambiental. A continuación, puede ser transportada por cualesquiera medios convencionales para colocarse y compactarse sobre la superficie receptora. Una vez que se ha compactado parcialmente, se hace rodar el dispositivo emisor sobre la superficie, tras lo cual la longitud de onda del emisor se sintoniza para activar la capacidad funcional de los grupos reactivos contenidos en la parte adhesiva 2, con lo que se completa un doble enlace transversal. La sección transversal del pavimento, cuando es activada por el emisor durante la segunda formación de enlaces transversales, alcanza, por lo común, una temperatura comprendida en el intervalo entre 163°C y 177°C (entre 325°F y 350°F). A medida que se enfría hasta aproximadamente 135°C (275°F), se compacta hasta su densidad final.

25 El despliegue de la tecnología, más allá de la prescriptiva preparación de la piedra revestida, tiene múltiples posibilidades. Por ejemplo, el pavimento viejo, tras la eliminación de los residuos de la superficie y de la suciedad incrustada en las grietas abiertas, puede ser homogeneizado, con lo que se caldea el pavimento hasta una temperatura de hasta 149°C (300°F) a una profundidad de hasta 7,6 cm (3”). Una vez que el pavimento se ha caldeado y que el agente aglomerante de su interior ha sido agitado, un lodo de agente aglomerante susceptible de ser rociado y piedra puede ser inyectado o aplicado por calandrado dentro de las grietas superficiales del pavimento. Mientras está aún caliente, por encima de 121°C (250°F), el pavimento puede ser compactado de forma vibratoria hasta obtener una superficie uniforme, carente de defectos y resistente a las inclemencias meteorológicas. Un perfil de pavimento rugoso, abombado o provisto de roderas puede requerir un fresado superficial para conseguir la calidad de marcha deseada. Una vez que el emisor ha rodado por encima de la superficie y se ha alcanzado una

- temperatura del pavimento mínima de 121°C (250°F) en la región que se ha de fresar, puede comenzar la eliminación sin provocar daños a la piedra del seno de la matriz de pavimento fresada. Al retirar este material fresado, puede ser entonces inmediatamente remezclado en el lugar de trabajo con una piedra revestida de agente aglomerante preparada con anterioridad, y vuelto a colocar sobre la superficie del pavimento por medio de una máquina de pavimentación, para su compactación y la formación final de enlaces transversales. Esto ahorrará mucho dinero, al reducir la demanda de material importado. El fresado en frío convencional daña la piedra, pero, tras efectuar una gradación y selección del pavimento asfáltico reciclado (RAP –“recycled pavement asphalt”–), este puede mezclarse con una piedra revestida de agente aglomerante y volver a instalarse, tal y como se ha esbozado en esta memoria.
- 5 Siempre que se prefiere la utilización de triturados de calzada vieja, tras su trituración hasta obtener el espectro de criba apropiado, puede iniciarse cualquier combinación de revestimiento in situ de estos triturados y mezcla con agregado revestido de agente aglomerante, con resultados mejorados con respecto a los métodos convencionales, pero el tapiz de pavimento instalado final ha de ser activado por calor con el emisor antes de su compactación, a fin de asegurarse de que el adhesivo se ha desarrollado por completo.
- 10 Una composición de placa de calzada prefabricada de entre 0,32 cm y 1,27 cm (entre 1/8” y 1/2”), de piedra gradada y agente aglomerante puede ser fabricada en rollos o láminas largas, en una ubicación fuera del terreno. Las láminas pueden ser ensambladas formando una unión de elastómero de aproximadamente 1 mm de espesor y transferirse, a continuación, al punto de aplicación en forma de secciones de, por ejemplo, entre 15,2 cm y 0 cm (entre 6” y 0”) de anchura, que se disponen como pavimento sobre una superficie de calzada dilapidada previamente preparada. Tras ello, el emisor rueda por encima de la superficie de desgaste recién instalada, e irradia tanto la base de calzada antigua como la nueva lámina de manera tal, que una compactación vibratoria puede entonces fundir la estructura consigo misma. Puede instalarse, primeramente, un imprimador o trazado de nivelación de agente aglomerante, en ciertas realizaciones, para proporcionar una superficie mejorada.
- 15
- 20

TractionSeal Micro

- 25 TractionSeal Micro es un sellador emulsionado-revestimiento sellador de mejora del rozamiento. La tecnología se obtiene como un agente aglomerante de gel que se añade a agua para, a continuación, mezclarse en su seno piedra previamente empaquetada (sellador emulsionado -150/325 o revestimiento sellador -50/200). El gel puede mezclarse para crear un aumento quintuple en el volumen del revestimiento. Esto significa que para cada 3,8 litros (un galón) de gel se hacen hasta 19 litros (5 galones) de sellador listo para su uso. El compuesto líquido se seca rápidamente y proporciona una superficie resistente al deslizamiento, permanentemente negro, altamente resistente al agua y al combustible. El agente aglomerante, de elevado punto de reblandecimiento, retiene un compuesto de piedra microscópica, concebido por ingeniería, que exhibe una cohesión autorregenerativa de fase sólida obtenida de tecnología aeroespacial. Esto significa que, cuando una carga oxidativa, térmica o mecánica, daña la matriz de material compuesto, esta reparará por sí misma, con un único ciclo de calentamiento-enfriamiento, el resto del agente aglomerante interno. La tecnología del agente aglomerante hace que este se introduzca por capilaridad en la región de asfalto superior, porosa y quebradiza, del pavimento, rellenando el espacio dejado por las resinas aromáticas perdidas. Esto restablece la ductilidad del adhesivo y, al curarse, crea una pantalla de desgaste de matriz de piedra, envuelta por encogimiento, que protege la superficie del pavimento viejo. El sellador emulsionado puede ser aplicado por rociamiento por un camión distribuidor. El revestimiento sellador puede ser aplicado por rociamiento o con un escurridor, usando equipo convencional.
- 30
- 35
- 40

Ensayo de rueda de Hamburgo

- Puede utilizarse el ensayo de rueda de Hamburgo como herramienta de investigación para asfalto de mezcla en caliente. El ensayo de tracción con rueda de Hamburgo se originó en Alemania, a mediados de los años 70. El ensayo examina la susceptibilidad del HMA a la formación de roderas y a daños por humedades. El ensayo de tracción con rueda de Hamburgo utiliza una rueda de acero pesada que rueda sobre la muestra dentro de un baño de agua calentada. Se llevan a cabo un número concebido por diseño de pasadas sobre la muestra, por ejemplo, 20.000 pasadas o más. La profundidad de la rodera es medida por la máquina periódicamente, habitualmente cada 20, 50, 100 o 200 pasadas. 20.000 pasadas llevan, por lo común, alrededor de 8-10 horas. Se examinan varios parámetros de análisis con el ensayo de tracción con rueda de Hamburgo, incluyendo la consolidación posterior a la compactación, la pendiente de fluencia, el punto de inflexión de descascarillado y la pendiente de descascarillado. La Administración Federal de Autopistas ha publicado un informe que proporciona detalles del ensayo (véase el número de publicación: FHWA-RD-02-042, fechada en octubre de 2000), y se publicó una evaluación del ensayo de Hamburgo para Caltrans por UC Davis (véase la divulgación de Qing Lu y John T. Harvey, Reportaje de investigación: UCPRC-RR-2005-15, fechada en noviembre de 2005). En términos prácticos, el ensayo puede emplearse en cualquier pavimento asfáltico concreto, particularmente en un pavimento al que se ha aplicado una nueva superficie de desgaste, a fin de determinar qué daños se han producido, si es que los ha habido, por debajo de la superficie visible del pavimento. El ensayo de Hamburgo puede emplearse para predecir si el pavimento dotado de la nueva superficie mantendrá una larga vida en servicio, o si se degradará rápidamente.
- 45
- 50
- 55

- La Figura 5 representa un aparato de ensayo de rueda de Hamburgo empleado para ensayar núcleos de pavimento asfáltico seleccionados. El aparato incluye un muelle izquierdo y un muelle derecho, de tal modo que cada muelle
- 60

sostiene un núcleo de pavimento asfáltico delantero y uno trasero, que se han de someter a ensayo. El núcleo del muelle delantero izquierdo se ha designado como L3, el núcleo del muelle trasero izquierdo se ha designado como L9, el núcleo del muelle delantero derecho se ha designado como R3, y el núcleo del muelle trasero derecho se ha designado como R9, como también se les hace referencia en las Figuras 5, 6 y 7. Las designaciones L6 y R6 se han utilizado para hacer referencia al punto central entre los núcleos L3 y L9, y los núcleos R3 y R9, respectivamente. Los núcleos sometidos a ensayo fueron núcleos preparados en laboratorio.

La Figura 6 proporciona una comparación de atributos de diversos núcleos ensayados. Las marcas de comprobación indican qué variables de mezcla de diseño son idénticas para los núcleos ensayados (incluyendo paquete de piedra, calidad de agente aglomerante, peso de agente aglomerante, temperatura final del núcleo, y % de huecos de aire). La secuencia de aplicación 1 + 2 indicaba que la piedra se había revestido con un agente aglomerante y, a continuación, la piedra revestida se revistió adicionalmente con agente aglomerante, en tanto que la secuencia de aplicación 2 indicaba que piedra sin revestir fue revestida con agente aglomerante en una única etapa. El XL [formación de enlaces transversales –“cross linking”–] de piedra indicaba en qué grado se producía la formación de enlaces transversales en el agente aglomerante aplicados directamente a la piedra (no al agente aglomerante en masa), según se inducía por la tecnología de emisor, de manera que «NO» indica que no se aplicó la tecnología de emisor a la piedra revestida. Inter XL indicaba en qué grado se producía la formación de enlaces transversales en el agente aglomerante en masa antes de la aplicación a la piedra, según se inducía por la tecnología de emisor, de manera que «NO» indica que no se aplicó la tecnología de emisor al agente aglomerante en masa. Intra XL indicaba en qué grado se producía la formación de enlaces transversales entre el agente aglomerante dispuesto sobre la piedra revestida y el agente aglomerante en masa, según se inducía por la tecnología de emisor, de tal modo que «NO» indica que no se aplicó la tecnología de emisor. La magnitud de formación de enlaces transversales inducidos se seleccionó controlando la cantidad de energía impartida al núcleo utilizando la tecnología de emisor.

La Figura 7A proporciona los resultados de un ensayo de tracción con rueda de Hamburgo para los núcleos de pavimento asfáltico del muelle de la izquierda (L3, L6, L9). Los ensayos se llevaron a cabo dentro de un baño de agua a 60°C. El eje y representaba la desviación axial en milímetros, en tanto que el eje x representaba el número de pasadas de rueda a que se sometieron los núcleos. El núcleo L3 exhibía una escasa deformación – esencialmente una pendiente hacia abajo constante, con un fallo a un ángulo de casi 45° sobre el gráfico—. Si bien el agente aglomerante empleado en la preparación de los núcleos de ensayo era el mismo, la formación de enlaces transversales fue diferente. El núcleo L3 no experimentó formación alguna de enlaces transversales. En contraste con esto, el núcleo L9 exhibió una formación de roderas tan grande como la mitad de la del núcleo L3. En el núcleo L9, la formación de enlaces transversales entre el agente aglomerante y la piedra, así como la formación de enlaces transversales en el agente aglomerante en masa, fue inducida por la aplicación de la tecnología de emisor.

La Figura 7B proporciona resultados del ensayo de máquina tractora de rueda de Hamburgo para núcleos de pavimento asfáltico del muelle de la derecha (R3, R6, R9). El gráfico incluye una región identificada como «inflexión de descascarillado». Esta región ilustra que entre aproximadamente 9.000 y 11.000 ciclos, la velocidad de formación de roderas comienza a acelerarse.

Se ha descubierto que, si se puede provocar la formación de enlaces transversales del agente aglomerante con la piedra utilizando tecnología de formación de enlaces transversales curados en el ambiente, la sensibilidad a la humedad de la calzada se ve sustancialmente mejorada. Por ejemplo, el núcleo R3 puede compararse con el L3. El núcleo L3 comienza a fallar a los 5.000 a 6.000 ciclos, con una formación de roderas que se hunden hasta 5 milímetros a los 6.000 ciclos. En contraste con esto, el núcleo R3 exhibe tan solo la mitad de la formación de roderas que el L3 para el mismo número de ciclos. El agente aglomerante del núcleo R3 exhibe más resistencia cohesiva, de lo que resulta una menor sensibilidad a la humedad. En el ensayo de Hamburgo, la dinámica de la relación existente entre el asfalto y la humedad no se manifiesta, por lo común, en la parte temprana del ensayo. El núcleo requiere, por lo común, un periodo de exposición al agua bajo condiciones de ensayo, a fin de que el agua se abra camino hacia abajo, al seno del núcleo, similarmente al proceso de exposición del pavimento a los elementos bajo condiciones ambientales. De acuerdo con ello, una calzada completamente nueva puede exhibir un comportamiento satisfactorio durante un par de temporadas y, a continuación, comenzar a deteriorarse repentinamente debido a la humedad que penetra en el núcleo y se inserta entre el agente aglomerante y la roca. De acuerdo con ello, el ensayo de Hamburgo puede ser contemplado, de forma conveniente, en dos partes: resistencia a la formación de roderas hasta aproximadamente 10.000 ciclos, y resistencia a la formación de roderas después de 10.000 ciclos. La resistencia a la formación de roderas hasta aproximadamente 10.000 ciclos y más allá indica que la piedra y el agente aglomerante están bien adheridos entre sí, para así resistir el desmenuzamiento por el agua. Si bien la formación de enlaces transversales externos puede mejorar la resistencia a la formación de roderas en los 10.000 primeros ciclos, es la formación de enlaces transversales en la piedra lo que mejora la resistencia a la formación de roderas a largo plazo, haciendo que el punto de inflexión de descascarillado se traslade afuera adicionalmente. El núcleo R9 exhibía el mejor comportamiento de todos los núcleos ensayados. El núcleo R9 se sometió a formación de enlaces transversales del 100% en la piedra y a la formación de enlaces transversales externos del 100%. No hubo pérdida significativa de resistencia a la humedad, y la formación de enlaces transversales externos del 100% conservó el material muy rígido en términos de la formación de roderas rotal en los estadios postreros del ensayo. La formación de enlaces transversales internos para el R9 fue del 20%.

La Figura 8A proporciona los resultados de un ensayo de máquina tractora de rueda de Hamburgo para núcleos de pavimento asfáltico del muelle de la izquierda (L3, L6, L9), preparados para maximizar la formación de enlaces transversales en la piedra, la formación de enlaces transversales internos y la formación de enlaces transversales externos. Los ensayos se llevaron a cabo en un baño de agua a 60°C. Los núcleos exhibieron una rodera máxima de 3,6 mm en el medio del núcleo, y un promedio de 2,4 mm desde las lecturas en la parte media de los núcleos y una lectura en la junta de unión. Se repitió un segundo ensayo de máquina tractora de rueda de Hamburgo sobre el mismo conjunto de núcleos que había sometido previamente a ensayo (de manera que los resultados del primer ensayo de máquina tractora de rueda de Hamburgo se proporcionan en la Figura 8A, y los resultados del segundo ensayo, subsiguiente, de máquina tractora de rueda de Hamburgo se proporcionan en la Figura 8B). Para el segundo ensayo, los núcleos se fijaron en un emplasto de alta resistencia de un modo tal, que el pavimento original inferior quedase completamente contenido. El segundo ensayo dio el resultado de una rodera máxima de 2,1 mm en el medio del núcleo y un promedio de 1,5 mm desde las lecturas de la parte media de los núcleos y una lectura en la junta de unión. Los núcleos así ensayados sobrevivieron 50.000 ciclos con menos de 4 mm de formación total de roderas.

Los núcleos se prepararon como sigue. Se proporcionó una matriz de piedra que se había gradado en 1,9 cm (3/4") a lo largo de una curva de potencia de 0,45 de la Administración Federal de Autopistas (FHWA). Se proporcionaron recubrimientos que comprendían el 60% de emulsiones modificadas de polímero, que se aplicaron en frío a la piedra seca de la matriz de piedra. Se preparó un revestimiento al que se hace referencia en esta memoria como «revestimiento de secuencia de aplicación 1», como sigue. Se preparó una mezcla de emulsión asfáltica HCP de la Delta Trading, LLC, de Bakersfield, CA (California), y resina biológica AFO 9837, de la Coe Polymer, Inc., de Sacramento, CA. La proporción entre la emulsión asfáltica HCP y la resina biológica AFO 0937 era de 96,00 a 4,00 (en unidades de peso). A esta mezcla se le añadió Crosslink MDI PM200, de la Tri-Iso, Inc., de Los Ángeles, CA. La proporción de mezcla de Crosslink MDI PM200 era de 100,00 a 5,00 (en unidades de peso). La cantidad de sólidos del revestimiento de secuencia de aplicación 1 era de 64,68 (en unidades de peso, sobre la base de 105,00 unidades totales de peso). La cantidad especificada de agente de formación de enlaces transversales (Crosslink MDI PM200) dio como resultado la formación del 100% de enlaces transversales. Se consiguieron niveles reducidos de enlaces transversales (por ejemplo, XL de piedra, Inter XL o Intra XL, según se hace referencia en la Figura 8) reduciendo la cantidad de agente de formación de enlaces transversales en la secuencia de aplicación 1. Se preparó un revestimiento al que se hace referencia en esta memoria como «revestimiento de secuencia de aplicación 2», como sigue. Se preparó una mezcla de emulsión asfáltica HCP de la Delta Trading, LLC, de Bakersfield, CA, y terpolímero de Isoprene-SBR modificado con resina biológica BER 2937. El Isoprene-SBR se obtuvo de la BASF North America, de Florham Park, NJ (Nueva Jersey), y la resina biológica BER 2937 empleada para convertir el Isoprene-SBR en un terpolímero se obtuvo de la Coe Polymer, Inc., de Sacramento, CA. La proporción entre la emulsión asfáltica HCP y el terpolímero de Isoprene-SBR modificado con resina biológica BER 2937 fue de 85,00 a 15,00 (en unidades de peso). La cantidad de sólidos en el revestimiento de secuencia de aplicación 2 era de 60,55 (en unidades de peso, sobre la base de un total de unidades de peso de 100,00). Los agentes aglomerantes curados combinados se evaluaron de acuerdo con las directrices establecidas en el ensayo de envejecimiento acelerado ASTM G154 QUV - 500 horas, incluyendo humedad cíclica a entre 300 nm y 400 nm. Los resultados fueron que no se detectó ayesamiento, agrietamiento o endurecimiento. El agente aglomerante curado también se evaluó de conformidad con las directrices establecidas para el envejecimiento acelerado de agente aglomerante de asfalto en ASTM D6521-13 -2,07 MPa (300 Psi) a 121°C (250°F) durante 30 días-. Los resultados fueron que no había pérdida de ductilidad, y no se detectó la formación de grupos carbonilo o sulfóxido.

En la secuencia de aplicación 1, el revestimiento se aplicó a la piedra en una cantidad del 4% de resina neta (con respecto al peso de piedra) y, a continuación, se secó con aire, con la formación de enlaces transversales a temperatura ambiental del revestimiento con la superficie de la piedra virgen. En la secuencia de aplicación 2, se aplicó el revestimiento a la piedra, previamente revestida, en una cantidad del 3,5% de resina neta (con respecto al peso de la piedra). El segundo revestimiento se aplicó sobre la primera capa de revestimiento, curada por aire, y entonces se secó por aire. No se produjo formación alguna de enlaces transversales del segundo revestimiento bajo condiciones ambientales (la formación de enlaces transversales se inicia únicamente cuando la matriz de piedra-agente aglomerante se somete a temperaturas de 121°C (250°F) o mayores en el seno de una sección transversal compactada). La piedra suelta, ya revestida, se colocó dentro de un cilindro compactador giratorio que ya contenía en el fondo una muestra de núcleo procedente de un pavimento envejecido. La matriz de piedra-agente aglomerante, compacta y fría, se compactó hasta una densidad de huecos de aire del 5% al 6%. El espesor total resultante del núcleo compactado fue 60 mm, de los cuales la mitad (30 mm) inferior consistía en la sección transversal del pavimento envejecido y la mitad (30 mm) superior consistía en material nuevo dispuesto como revestimiento. El núcleo compactado fue entonces irradiado con radiación de longitud de onda de 10.000 nm, hasta alcanzar una temperatura de núcleo de 177°C (300°F). La sección de ensayo, al ser compactada y curada por irradiación, simulaba un sistema de reparación de recubrimiento de 2,54 cm (una pulgada). Los resultados del ensayo de rueda de Hamburgo para el pavimento envejecido de referencia tomado de la misma zona que las muestras de núcleo de pavimento envejecido anteriormente referidas, mostraron un exceso de 20 mm en la formación de roderas, con lo que fallaron con respecto al estándar en aproximadamente 5.000 ciclos. La irradiación de todo el núcleo hasta una temperatura de 177°C (300°F) durante un mínimo de diez minutos produjo la formación completa de enlaces transversales del agente aglomerante de la secuencia de aplicación 1 al de la secuencia de aplicación 2, dentro de su propia matriz, así como produjo la formación de enlaces transversales externos entre la

secuencia de aplicación 1 y la secuencia de aplicación 2 hasta obtener un polímero monolítico en el punto de contacto mecánico de cada especie química de piedra revestida.

5 Un núcleo sometido a la formación del 100% de enlaces transversales de piedra, del 100% de enlaces transversales externos y del 100% de enlaces transversales internos prácticamente no presentará formación alguna de roderas, con el resultado de una vida en servicio significativamente más larga que cualquier asfalto convencional. En ciertas realizaciones, es deseable un alto grado de formación de enlaces transversales internos. Una calzada creada con intersticios tiene huecos entre la piedra que dejan espacio para la percolación del agua a su través y su movimiento horizontal para mantener la calzada sin charcos. Tal configuración ayuda a evitar el hidropilaje, y se hace referencia a ella como un trazado de rozamiento de gradación abierta. Semejante configuración se emplea en ciertos tramos de la Interestatal 10 que discurre a lo largo de la costa del Golfo, a fin de evitar el agua estancada debida a las fuertes lluvias. Mientras que, en una estructura de gradación densa, hay un contacto sustancial de la roca, en una calzada de gradación con intersticios hay sustancialmente un contacto menor de la roca, por lo que la sección transversal de la calzada experimenta cargas mecánicas sustancialmente más grandes en los puntos de contacto. Un alto grado de formación de enlaces transversales internos puede compensar las mayores cargas. La formación de enlaces transversales externos es un factor más grande en tales calzadas de gradación con intersticios, debido a que las piedras se tocan en un número menor de puntos, en contraste con el hecho de estar encajadas de forma muy apretada. Puede emplearse, ventajosamente, la tecnología de emisor con el fin de concebir o diseñar el agente aglomerante de manera que compense lo que, de otro modo, se consideraría una configuración de piedra de calidad inferior, como en las calzadas de gradación con intersticios, con el resultado de una vida del pavimento más larga que lo que puede conseguirse utilizando tecnologías convencionales.

La Figura 9 proporciona un esquema que representa las etapas implicadas en la reproducción de pavimento dañado o envejecido, utilizando tecnología de emisor. La primera etapa implica, por lo común, la preparación de la superficie, si es necesario (por ejemplo, retirando los residuos y las marcas del pavimento, lavándolo a alta presión o por vacío). La reparación del pavimento profundo se consigue por medio de las segunda y tercera etapas. La segunda etapa implica el restablecimiento de la ductilidad mediante la aplicación de la tecnología de emisor a la superficie de la calzada, y a esta sigue una tercera etapa de densificación del pavimento, por ejemplo, utilizando una compactación vibratoria de gran impacto u otras tecnologías de compactación convencionales, dependiendo del recubrimiento cualquiera que se haya de aplicar. Si se desea, estas etapas pueden ser seguidas de un procedimiento superficial de gradación y desgaste final, que implica, como en la etapa 4, la aplicación de un microfresado en caliente y la inyección de adhesivo de alto rendimiento (una primera formación de enlaces transversales), el aporte por gravedad de una nueva matriz de piedra previamente revestida, la mezcla de agregado nuevo y agregado fresado en caliente, y adhesivo, y, seguidamente, la pavimentación, seguida de la aplicación de la tecnología de emisor al sustrato superior (una segunda formación de enlaces transversales). La etapa 5 implica una compactación final y la fusión de la superficie de desgaste.

Para tecnologías de pavimentación con asfalto convencionales, por lo común, se consideran, en promedio, 30 años como la vida de uso esperable, esto es, la vida de la calzada sin un mantenimiento importante. En contraste con esto, la vida de uso real se considera, por lo común, tan solo de 18 años como promedio, con el mejor pavimento que está actualmente en uso, a saber, el pavimento de mezcla en caliente convencional. Una persona experta en la técnica comprende que, si bien es deseable una alta dureza en el pavimento asfáltico, si se incluye demasiada cantidad de polímero en el asfalto dispuesto como revestimiento sobre roca para mejorar su dureza, el material se hace tan rígido, que no puede extenderse utilizando equipos de pavimentación convencionales y presenta problemas de descascarillado. La tecnología de emisor de las realizaciones hace posible conseguir un grado más alto de formación de enlaces transversales en cualquier polímero presente, frente a la tecnología de mezcla en caliente convencional, al objeto de mejorar la dureza del pavimento in situ, con lo que se prolonga teóricamente la vida útil real hasta 50 años o más para el pavimento utilizando la tecnología de emisor. La Figura 4 ilustra diversas consideraciones de la vida frente a la fatiga y su impacto en la vida útil esperada. Las consideraciones se dividen en factores relacionados con el procedimiento y factores relacionados con la química. En el asfalto mezclado en caliente convencional, un factor relacionado con el procedimiento, que reduce la vida, es la oxidación del agente aglomerante antes de la instalación. El agente aglomerante es, por lo común, sometido a calentamiento durante horas antes de su instalación (con una reducción de aproximadamente 2 años de vida). En contraste con esto, la tecnología de emisor caldea el pavimento sobre el terreno durante tan solo unos pocos minutos (con un efecto neto nulo en la vida útil esperada). La segregación de gradación con intersticios, en la que las rocas más pequeñas y más grandes del agregado se separan durante el manejo (transporte, almacenamiento, transferencia, etc.) pueden causar aproximadamente 3 años de reducción de la vida. En contraste con esto, en la tecnología de emisor, el agregado se mezcla y se extiende sobre el terreno, de lo que resulta una homogeneidad superior (con un beneficio de aproximadamente 2 años en la vida).

La sensibilidad a la humedad del agregado colocado es un factor significativo en la reducción de la vida de una mezcla en caliente convencional. La mezcla en caliente es, por lo común, un material altamente viscoso debido a la presencia de asfaltos cauchutados. El material de asfalto cauchutado de alta viscosidad «suaviza» la superficie de la roca seca al tiempo que exhibe una tendencia a formar puentes en la microestructura de la superficie de la roca. De acuerdo con ello, en la mezcla en caliente convencional, existe mucha área superficial que se deja sin mojar por la elevada viscosidad del material de asfalto cauchutado. En contraste con ello, un material con base de agua tal como se emplea en la tecnología de ciertas realizaciones, tiene la tendencia a mojar sustancialmente más de la

microestructura de la superficie de roca, y, por lo común, revestirá 10 veces más del área superficial de la roca que un material de asfalto cauchutado de alta viscosidad, de mezcla en caliente convencional. Esto tiene como resultado una mayor intimación entre la química de un sistema basado en agua que en un sistema de fusión en caliente, de lo que resulta una sensibilidad a la humedad reducida. Los procesos relacionados con la sensibilidad a la humedad tienen el resultado de una reducción de aproximadamente 4 años de vida para la mezcla en caliente, frente a una ganancia de aproximadamente 4 años para la tecnología de emisor.

La densidad de tapiz es un factor relativo a la rigidez de la mezcla en caliente. Como se ha explicado anteriormente, los materiales bituminosos comprenden dos fases: una fase continua que comprende maltenos, y una fase en suspensión que comprende asfaltenos. La práctica de someter el material a energía de longitudes de onda cortas como en la mezcla en caliente convencional, da como resultado la hidrogenación y la ramificación, lo que provoca que se formen islas que le quitan parte de la homogeneidad al asfalto. Esta reducción de la homogeneidad puede tener su impacto en el procedimiento de compactación, por cuanto el asfalto actúa como un «lubricante sucio», lo que hace que el pavimento se mueva lateralmente en lugar de compactarse verticalmente en una masa más apretada en un cierto punto. Si el asfalto es enfriado hasta el punto de que no se mueve lateralmente, entonces se hace demasiado rígido para compactarse verticalmente. Esto tiene como resultado un contenido de densidad de huecos del 6% en la mezcla en caliente convencional, con el resultado de una pérdida de 3 años en la vida útil esperable. En contraste con esto, puede conseguirse una densidad más elevada, reduciendo hasta el 5% o incluso el 4% o menos la densidad de huecos con la tecnología de emisor, con el resultado de una mejora de aproximadamente 5 años. Esto es debido a que puede emplearse una energía de longitud de onda más larga, de tal manera que la lubricidad entre el agente aglomerante dispuesto sobre la roca y la piedra, cuando se lleva a cabo la compactación final, se mejora, con el resultado de una densidad más alta. La aplicación de la tecnología de emisor y la compactación a un lecho de calzada envejecido que presenta estratificación puede reducir, por lo común, el contenido de densidad de huecos de la mezcla caliente en un punto porcentual (por ejemplo, un contenido de densidad de huecos del 6% se reduce a un contenido de densidad de huecos del 5%).

La configuración de la vida frente a la fatiga, relacionada con la química, puede incluir la selección de polímeros. Por ejemplo, la tecnología de emisor puede emplear tecnologías de polímero que no se utilizan convencionalmente en la mezcla en caliente convencional, por ejemplo, ciertas tecnologías de glicol. La optimización del agente aglomerante de agregado incluye procedimientos relacionados para conseguir una mejor mojadura de la superficie de la roca mediante el uso de agentes de formación de enlaces transversales y agentes de descascarillado (por ejemplo, las bases de amina tales como los isocianuratos exhiben una débil química ácida y se enlazan a los hidroxilos de la superficie de la piedra) que añaden una resistencia significativa a la susceptibilidad a la humedad. El isocianurato tratado en solución amortiguadora puede resultar particularmente ventajoso en conjunción con la tecnología de emisor, por cuanto se mezclará en el seno del sistema de agente aglomerante acuoso y mejorará la mojadura de la superficie de la piedra en un factor de 10, en comparación con la mezcla en caliente convencional, y también creará enlaces que no son susceptibles de romperse por materiales polares tales como el agua. La selección de agregado-agente aglomerante puede también ser empleada para hacer posible que agregado de escasa calidad, por ejemplo, roca que es porosa o no tan saludable estructuralmente, como se prefiere por lo común, sea utilizada en la construcción de carreteras con una vida útil satisfactoria. La tecnología de las realizaciones hace posible compensar tales irregularidades en la dureza o fortaleza real de la piedra. Los factores finales relacionados con la química que se identifican en la Figura 5 incluyen la formación de enlaces transversales externos, la formación de enlaces transversales internos y la doble formación de enlaces transversales. La doble formación de enlaces transversales se utiliza para describir un proceso en el que hay una primera formación de enlaces transversales que tiene lugar a una longitud de onda de pico de entre aproximadamente 3 y 5.000 nanómetros, y, a continuación, un segundo nivel de formación de enlaces transversales que tiene lugar a medida que el sistema de calzada se enfría. La segunda fase de formación de enlaces transversales que tiene lugar crea una resistencia a las cargas que la primera formación de enlaces transversales soportará en primer lugar. La combinación de formación de enlaces transversales que tiene lugar a diferentes temperaturas crea esencialmente tensión entre los enlaces transversales, de tal manera que la primera fase de formación de enlaces transversales bajo compresión crea tensión en los segundos enlaces transversales, y viceversa. Esto facilita que el pavimento vuelva a una situación estática tras la aplicación de una compresión por una carga rodante, al utilizar una estructura cristalina de tensión y compresión.

La Figura 10 proporciona una comparación de coste por kilómetro de carril, por año, de la tecnología de emisor frente a tecnologías de rejuvenecimiento de pavimento convencionales. Es de destacar que la tecnología de emisor puede proporcionar resultados superiores a los de las tecnologías de sellado con fragmentos convencionales, de microloado de tipo III, y de recubrimiento de 2,5 cm (1") con Petromat, con ahorros de coste significativos. La Figura 11 proporciona una comparación de atributos de la tecnología de emisor frente a tecnologías de rejuvenecimiento de pavimento convencionales.

La Figura 12 proporciona una comparación de resultados del ensayo de resistencia al restregamiento ASTM D2486 para revestimientos de pavimento convencionales, frente al lodo atomizado TractionSeal mejorado con agente aglomerante (-150 piedra). Las Figuras 13A a 13D son fotografías de los revestimientos sometidos al ensayo de resistencia al restregamiento ASTM D2486 de la Figura 12. Estas incluyen un alquitrán de carbón de alto rendimiento a 500 ciclos (Figura 13A), un carbón sellador de primera calidad a 650 ciclos (Figura 13B), una pintura acrílica de descascarillado por tráfico a 1.250 ciclos (Figura 13C), y un lodo atomizado TractionSeal a 1.650 ciclos (Figura 13D).

Aplicaciones de revestimiento

El elastómero adecuado para uso en realizaciones seleccionadas incluye un material de alta viscosidad que es un termoplástico, no un material termotrópico, de tal manera que puede aplicarse en condiciones ambientales. Este puede exhibir cualidades adhesivas superiores que se adecuan al sustrato sobre el que se aplica, ya sea madera, una herrumbre picada, metal blanco, una superficie herrumbrosa, una autoimpresión, revestimientos marinos, revestimientos agrícolas u otros similares (por ejemplo, un revestimiento para tuberías que se han de colocar bajo tierra). Manipulando los componentes del elastómero, es posible obtener un revestimiento particularizado para una aplicación particular. Tales revestimientos, una vez aplicados, pueden ser curados utilizando la metodología del sistema emisor para obtener como resultado un revestimiento con cualidades superiores. Una ventaja de tal sistema es que puede ser empleado para aplicar revestimientos en condiciones ambientales como las que están presentes sobre el terreno.

Los elastómeros pueden ser empleados como pinturas domésticas y otros revestimientos estructurales similares para uso sobre, por ejemplo, madera, estuco, hormigón, carpintería de aluminio o materiales similares. Para sustratos transpirables o porosos, tales como la madera, la humedad puede penetrar desde otros lugares, de tal modo que debe permitirse a la madera transpirar de manera que no se acumule el agua. La transpirabilidad puede introducirse por ingeniería en una pintura, y puede también concebirse por ingeniería de manera que tenga una resistencia mucho más alta a la energía solar, de tal modo que se minimice el ayesamiento y algunos de los otros problemas presentados por la pintura doméstica al exponerse a los elementos. Ya se encuentre en un entorno marino, ya esté sencillamente sometido a temperaturas extremadamente frías seguidas de un calor muy intenso, el elastómero puede ser concebido ingenierilmente para proporcionar un revestimiento que puede ser aplicado a una pared lateral o a otra superficie y que puede ser entonces curado utilizando, por ejemplo, un emisor de mano. El rociamiento es un método de aplicación deseable; sin embargo, puede emplearse también el paso con rodillo u otros métodos de aplicación. Sobre, por ejemplo, una superficie de madera, dicho revestimiento curado exhibe una vida útil mucho más larga que la de una pintura doméstica convencional.

Existen muchos tipos diferentes de pintura doméstica y la mayor parte de estos caen dentro de dos categorías: al óleo o al agua. Se hace referencia a la pintura doméstica basada en óleo como alquímica, en tanto que el tipo basado en agua se denomina comúnmente látex o acrílica. Las principales diferencias entre las dos son sus procesos de secado, sus acabados y la facilidad o dificultad que presentan para limpiarse. La pintura doméstica basada en óleo, o al óleo, tarda más tiempo en secarse que la variedad basada en agua, o al agua, pero contiene aditivos para ayudar a acelerar el proceso de secado. Las pinturas al óleo también crean un acabado más duro y satinado, y requieren productos químicos especiales para limpiarse. Las pinturas al agua, por otra parte, se secan rápidamente conforme la humedad se evapora. Su acabado no es tan brillante ni tan duradero, pero su facilidad de limpieza las hace una elección popular. Pueden ser limpiadas con agua tibia y un poco de detergente suave. Dentro de estas categorías existen muchos tipos diferentes, comenzando por el imprimador. Si bien el imprimador no puede considerarse técnicamente una pintura, constituye una etapa necesaria en la mayoría de proyectos de pintura. El imprimador está también disponible en fórmulas basadas en óleo y basadas en agua. Es inteligente seleccionar un imprimador basado en óleo cuando se utilizan pinturas domésticas alquímicas, y un imprimador basado en agua cuando se utiliza látex. Especialmente las pinturas domésticas incluyen opciones contra la condensación y opciones resistentes a los hongos y al moho. Estas se utilizan generalmente en cocinas, baños, sótanos y en cualquier otra zona que pueda tener humedades. Si bien este tipo no puede evitar por completo la condensación, los hongos o el moho, puede paliar en gran medida sus efectos. Otra variedad de especialidad es la pintura doméstica resistente al calor o retardadora del fuego. Si bien estas no pueden prevenir por completo un incendio, soportan temperaturas mucho más elevadas y ralentizan la propagación del fuego. Se utilizan a menudo en las inmediaciones de radiadores y chimeneas. Los revestimientos que utilizan tecnología de elastómero según se describe en la presente memoria pueden ser curados utilizando radiación del orden de terahercios producida por un emisor, según se describe en esta memoria.

Los revestimientos interiores de polímero reforzado con fibra (FRP –“fiber-reinforced polymer”–) se han aceptado desde hace mucho tiempo para la rehabilitación de tuberías que se han deteriorado a lo largo de décadas de servicio, pero pueden también ser utilizados para corregir las deficiencias de diseño y de construcción en nuevas tuberías. A medida que la infraestructura de distribución de agua continúa deteriorándose en toda Norteamérica, hay una necesidad persistente de desarrollar métodos de rehabilitación de tuberías que sean económicos y tengan un impacto mínimo, al tiempo que se minimice también el tiempo que una tubería ha de retirarse del servicio. Revestimientos interiores dispuestos por rociamiento y que satisfacen los requisitos de la NSF 61 constituyen una de tales clases emergentes de métodos de rehabilitación para tuberías y conductos sometidos a presión interna. Los revestimientos interiores dispuestos por rociamiento que se utilizan en la actualidad en la rehabilitación de conducciones de agua están bien basados en cemento, o bien basados en polímeros convencionales. Los revestimientos interiores de tuberías preparados utilizando elastómero y tecnología de emisor para su curado proporcionan revestimientos de larga duración que son fáciles de aplicar y curarse en su lugar. La tecnología de emisor puede ser fácilmente adaptada al uso en el interior de tuberías de diversos tamaños, por ejemplo, desde conducciones de alcantarillado residencial de algunos centímetros (unas pocas pulgadas) de diámetro o menos hasta grandes tuberías de hormigón o de metal de en torno a un metro de diámetro (varios pies) o más.

Puede también emplearse radiación del orden de terahercios, desde el IR medio hasta las microondas cercanas,

5 para curar rápidamente revestimientos que utilizan, asimismo, materiales de elastómero o poliméricos convencionales seleccionados. De acuerdo con ello, en ciertas realizaciones, un emisor como el de ciertas realizaciones puede ser empleado para curar rápidamente un revestimiento convencional. Sin embargo, se prefieren generalmente revestimientos curados que emplean tecnología de elastómero, ya que exhiben propiedades superiores por lo que respecta a la durabilidad, flexibilidad y resistencia a los elementos (agua, cambios de temperatura, contacto físico, etc.).

10 Similarmente, el elastómero según se describe en la presente memoria para aplicaciones de pavimento asfáltico puede ser empleado para uso en revestimientos marinos (por ejemplo, embarcaderos, costados de un barco, tanques de contención, bodegas de barco, tanques u otras estructuras expuestas al agua dulce o al agua salada. Puede aplicarse una capa de elastómero de entre 2,5 cm y 5,1 cm (entre 1 y 2 pulgadas) de espesor a semejante armazón de acero y, a continuación, someterse a curado. Semejante elastómero curado forma esencialmente un recipiente secundario que tiene propiedades de integridad estructural que superarán de lejos las de un armazón de acero similar. Tal metodología puede ser empleada para remozar tanques que envejecen, por ejemplo, tanques de petróleo, a fin de prevenir fugas. Un revestimiento interior de doble casco que emplea un elastómero, puede proporcionar un alto grado de integridad estructural en aplicaciones marinas. Puede emplearse metodología de extrusión con elastómeros de ciertas realizaciones fabricados como un termoplástico, por ejemplo, a 20.000 centistokes, para permitir la fabricación de gruesas láminas y capas que exhiban las propiedades deseadas.

Aplicaciones en cimientos de puentes y edificios

20 Puede colocarse un revestimiento de elastómero en un muro de cimentación de una nueva construcción, o bien puede utilizarse para reparar una zona en la que se ha empleado hormigón de baja calidad, o bien en la que el hormigón se ha expuesto al agua, por ejemplo, dentro de un garaje de aparcamientos, en una cisterna o en un cuarto de transformadores de potencia, o en una instalación similar. El sistema es deseable para uso en hormigón que está configurado para permanecer estanco al agua por su interior mientras es expuesto a fuentes de agua. Para reparar las fugas, se utilizan, convenientemente, sellantes de silicona. Sin embargo, para nueva construcción, tales sellantes no resultan prácticos a la hora de utilizarse sobre grandes superficies. El elastómero ofrece la ventaja de que puede ser rociado sobre, por ejemplo, suelos, paredes, techos, vigas de soporte o elementos similares, y, cuando se cura utilizando el sistema emisor, tiene una excelente flexibilidad a lo largo de un amplio intervalo de temperaturas, una tremenda adherencia a la superficie y se repara o sana por sí mismo, de tal manera que no se observa ninguna pérdida de integridad estructural en condiciones normales.

30 En tales aplicaciones en la industria de la construcción, pueden añadirse materiales tales como neumáticos reciclados a la composición de elastómero con el fin de proporcionar una buena capacidad de absorción de energía cuando se cura utilizando la tecnología de emisor. Un absorbente de energía barato, tal como el caucho, incluso en el elastómero en altas concentraciones, puede ayudar en gran medida a obtener un acabado más rápido.

35 En el caso de muros de cimentación, puede rociarse un revestimiento de elastómero sobre estos, que se cura hasta obtener un revestimiento protector. El elastómero puede incluir resinas biológicas con material de base de agua u otros materiales en las cantidades deseadas para crear propiedades viscoelásticas que hacen posible el rociamiento de una gruesa capa sobre superficies verticales o en desplome, que permanece en su lugar sin resbalar antes y durante el proceso de curado. En algunas realizaciones, puede utilizarse una membrana o tela de refuerzo en combinación con el elastómero, por ejemplo, aplicada sobre la parte superior de la capa de elastómero sin curar, la cual actúa como adhesivo para la membrana y/o penetra en el seno de la membrana. Por ejemplo, puede prepararse un elastómero que incluye un agente de suspensión de resina biológica que permite colocar en su lugar por rociamiento capas de hasta 0,32 cm (1/8 de pulgada) o más de espesor, tras lo que puede aplicarse una tela de refuerzo y, a continuación, curar la capa. Pueden superponerse múltiples capas de elastómero y/o de tela, de tal manera que el curado se lleva a cabo como etapa final o tras la aplicación de una o más capas de elastómero.

45 La velocidad del curado, así como la cantidad de energía requerida para el curado y su magnitud de densidad, pueden ser ajustadas con el fin de evitar la formación de ampollas en la capa curada. En materiales convencionales, la rápida salida del agua durante el proceso de curado puede dar como resultado la formación de ampollas. Si las condiciones son tales, que el agua no se escapa rápidamente del material, el agua puede actuar como catalizador mientras se encuentra en un estado de alta energía, atrapado en el material, sin que se disocie el agua.

50 Puede calcularse la cantidad de energía que se deposita en una molécula de agua atrapada en el seno del elastómero, y esta información puede utilizarse para manipular las características del revestimiento de tal manera que se evite la formación de ampollas cuando se está depositando una gran cantidad de energía en el seno del revestimiento.

55 Los métodos según se ha descrito anteriormente para revestir una estructura de hormigón, tan como una pared vertical, pueden adaptarse a estructuras de hormigón presentes en puentes. Los puentes, por ejemplo, los puentes de autopista, pueden emplear una capa de asfalto, pero se construyen fundamentalmente de hormigón y acero. Estos puentes pueden ser pavimentados, pero son fundamentalmente de acero con un recubrimiento de hormigón. En tales realizaciones, son altamente deseables propiedades de estanqueidad al agua, por ejemplo, para evitar la entrada de agua de mar. Pueden producirse grietas y fisuras provocadas por el encogimiento del hormigón, de

manera que es deseable compensar esto con un revestimiento que exhiba estiramiento y cedimiento.

Un puente tendrá una superficie de desgaste sobre la parte superior, que ha de ser flotante y ceder en diferentes direcciones. En un edificio de gran altura, es típico tener material de desecho dispuesto como relleno o grava con baldosas de drenaje o tuberías de drenaje que se instalan para transportar el agua lejos de los cimientos del edificio. En contraste con esto, en un puente horizontal, se tiene la acción cortante o de cizalladura del pavimento que se coloca sobre la parte superior, por ejemplo, hormigón con una pavimentación de asfalto por encima, sometida a estiramiento en dos direcciones diferentes. Esta acción combinada duplica o triplica la magnitud de recuperación elástica que necesita el material. Cuando se produce un movimiento simultáneo en los planos X, Y y Z. como ocurre en los puentes, se emplean convencionalmente materiales especiales para proporcionar estanqueidad al agua. Estos materiales penetran hasta un espesor de aproximadamente 0,64 cm (1/4 de pulgada) y son, por lo común, ureas o uretanos. Tales materiales adolecen de formación de ampollas debido a la presencia de humedad en la cubierta del puente, y se desgarrarán en última instancia como consecuencia del movimiento a que están sometidos. En contraste con esto, los elastómeros descritos en esta memoria exhiben una excelente rigidez y resistencia a la tracción, y pueden sanearse por sí mismos incluso a temperaturas bajo cero. También pueden ser inyectados en el seno del sustrato que se ha de revestir.

Los elastómeros son deseables para uso en, por ejemplo, estructuras de hormigón en las que se han abierto fracturas y el agua gotea sobre la estructura (por ejemplo, transportada por los coches). Las sales presentes en esa agua (por ejemplo, la sal de la calzada) pueden atacar adicionalmente cualquier línea divisoria entre cemento y acero, haciendo que el acero se corroa.

Convencionalmente, puede colocarse una membrana sobre la parte superior del hormigón; sin embargo, la membrana puede seguir permitiendo que el agua migre por debajo de su superficie. Las resinas epoxídicas y los poliuretanos pueden utilizarse como agentes sellantes; sin embargo si bien son suficientemente robustos para soportar el tráfico y son admitidos bien por el hormigón, comprometen la capacidad de flexión y, si se flexionan demasiado, se romperán. Tales materiales no son materiales de tecnología aeroespacial. En contraste con ello, el elastómero de ciertas realizaciones puede reunir las propiedades físicas de la resina epoxídica sobre una superficie de conducción para un garaje de aparcamientos, pero también se saneará por sí mismo y proseguirá reparándose por sí mismo. Puede también ser utilizado para inyectarse en profundidad dentro de grietas y fisuras y llevar, de hecho, el agua hacia arriba, al lado de la interfaz entre el elastómero y el cemento, a fin de que se convierta en un material completamente reactivo que tiene el 1.000% de elongación. Esto permite al hormigón moverse (por ejemplo, por calentamiento y enfriamiento de la estructura a lo largo del verano y del invierno) mientras el elastómero experimenta un autosaneamiento. El método de elastómero y curado por emisor cubre un gran vacío y satisface una necesidad comercial significativa donde se han venido empleando con anterioridad materiales exóticos (y caros), ya sea para reparación, ya sea para nueva construcción.

Bloques ligeros

La mayor parte del hormigón común producido se encuentra en el orden de densidad de 2.403 kg por metro cúbico (150 libras por pie cúbico (pcf –“pounds per cubic foot”–)). La última década ha visto grandes avances en el ámbito del hormigón denso y fantásticas resistencias a la compresión (hasta 138 MPa (20.000 psi)) a los que han llegado los diseñadores de mezclas. Pero, con todo, el hormigón común tiene algunas desventajas. Es pesado, difícil de trabajar y, una vez que fragua, no es posible cortarlo o enlavar en él sin alguna dificultad o sin el uso de herramientas especiales. Algunas reservas sobre él incluyen la percepción de que es frío y húmedo. Con todo, es un notable material de construcción –fluido, robusto, relativamente barato e inocuo desde el punto de vista medioambiental–. Y está disponible casi en cualquier parte del mundo.

El hormigón común al que se han añadido burbujas de aire microscópicas hasta el 7% se denomina hormigón con oclusiones de aire. Se utiliza generalmente para aumentar la susceptibilidad de trabajo del hormigón húmedo y reducir los daños por congelación-descongelación, al hacerlo menos permeable a la absorción de agua. Las mezclas con oclusión de aire convencionales, si bien proporcionan aire relativamente estable en pequeñas cantidades, tienen un ámbito de aplicación limitado y no resultan muy adecuadas para diseños de mezcla ligera de especialidad.

El hormigón ligero comienza en el orden de densidad de menos de 1.922 kg por metro cúbico (120 pcf). Se ha venido elaborando tradicionalmente mediante el uso de agregados tales como esquisto, arcilla, vermiculita, piedra pómez y escoria, entre otros materiales. Cada uno de ellos tiene sus peculiaridades a la hora del manejo, especialmente los agregados volcánicos, que requieren una cuidadosa supervisión de la humedad y son difíciles de bombear. La reducción en el peso y la densidad produce cambios significativos que mejoran muchas propiedades del hormigón, tanto en su colocación como en su aplicación. Si bien esto se ha llevado a cabo fundamentalmente mediante el uso de agregados ligeros, se han venido añadiendo a las mezclas espumas preformadas, con lo que se ha reducido adicionalmente el peso. Las mezclas más ligeras (de 320 a 961 kg por metro cúbico (de 20 pcf a 60 pcf)) se elaboran a menudo utilizando únicamente espuma como agregado, y se hace referencia a ellas como hormigón celular. El aire atrapado adopta la forma de pequeñas burbujas macroscópicas de forma esférica uniformemente dispersadas en la mezcla de hormigón. Se encuentran disponibles en la actualidad espumas que tienen un alto grado de compatibilidad con muchas de las mezclas que se utilizan hoy en día en los modernos diseños de mezcla de hormigón.

La espuma que se utiliza con agregados ligeros y/o con mezclas ligeras tales como cenizas volantes, humo de sílice, refuerzo de fibra sintética y reductores de agua de alto rendimiento (por ejemplo, superplastificadores), ha dado lugar a un nuevo híbrido de hormigón denominado hormigón compuesto ligero.

5 Los bloques de hormigón ligero («bloques ligeros») pueden prepararse utilizando tecnología de elastómero. La arena y los agregados empleados en un bloque ligero pueden ser microrrevestidos con elastómero y, a continuación, sometidos a un curado por emisor según salen de una máquina extrusora. El bloque ligero resultante exhibe un alto grado de robustez y resistencia al rompimiento, lo que lo hace deseable para uso en zonas sometidas a terremotos. Tal tecnología también puede emplearse para preparar otras estructuras de cemento fuertes y flexibles, por ejemplo, tuberías o láminas extrudidas, o incluso estructuras convencionalmente preparadas utilizando cemento (por ejemplo, 10 pavimento, aceras, escalones, etc.). Una carretera construida utilizando tecnología de elastómero según se describe en esta memoria será extremadamente duradera, con una elevada resistencia a la pérdida de partículas finas por desprendimiento de la superficie, un elevado módulo de rigidez y otras propiedades deseables. Dicha tecnología de elastómero puede ser utilizada en cualquier aplicación en la que sea deseable formar una estructura sólida por la adhesión de pequeñas partículas unas con otras (por ejemplo, roca, lascas de material compuesto de peso ligero, 15 cualquier combinación de materiales fibrosos y piedra), por ejemplo, la construcción de cerchas de edificios, miembros estructurales para edificación y elementos similares.

El bloque de hormigón aireado en autoclave es un material de construcción de peso ligero. Un bloque en H, o unidad de dos extremos abiertos, está abierta por ambos extremos, lo que aumenta el espacio disponible para varillas y lechada. Un sistema de muro de mampostería sin mortero se confecciona a partir de unidades apiladas en seco que 20 pueden ser subsecuentemente enlechadas, parcialmente enlechadas o unidas superficialmente. El hormigón aireado ligero, también conocido como hormigón espumoso u hormigón celular, no es un producto de hormigón aireado en autoclave (AAC –“autoclaved aereated concrete”–); se trata de hormigón convencional con un amplio intervalo de densidades, elecciones de agregados y diseños de mezcla. Se utiliza de forma generalizada en la fabricación de paneles de pared de hormigón ligero de una sola capa, empleando una construcción precolada. Es esta una 25 situación ideal para la fabricación de estructuras comerciales y fábricas ligeras, así como vivienda residencial. Los bloques de hormigón ligeros aireados y paneles precolados ligeros, solados de hormigón espumado, aislamiento sonoro y térmico, y aplicaciones de hormigón geotécnicas y ornamentales son, todas ellas, aplicaciones en las que puede emplearse el elastómero. El hormigón ligero aireado se presta bien a métodos de construcción precolados, y los paneles pueden ser llenados incluso sobre el terreno, ahorrando costes de transporte y manejo. La colada de paneles de hormigón ligero es muy similar a la producción de paneles comunes, y la mayoría de aditivos comercialmente disponibles que se utilizan con el hormigón pueden ser también utilizados con hormigón ligero aireado. Entre un abanico de bloques de mampostería ligeros que pueden producirse de elastómero se incluyen 30 bloques ligeros imbricados sin mortero, los cuales ahorran tiempo de construcción y pueden fabricarse de diversas densidades. Estos alcanzan elevados valores de aislamiento, son ignífugos y pueden fabricarse de diversos tamaños. Puede fabricarse ornamentación arquitectónica de elastómero con hormigón espumoso. Las chimeneas de piedra natural son a menudo estructuras demasiado pesadas para algunos, especialmente si son remozadas. Por lo demás, el hormigón celular proporciona un excelente aislamiento, lo que reduce el riesgo de incendio. Los productos de ornamentación de hormigón aireado ligero pueden ser fabricados en una amplia variedad de acabados, tales como mármol, piedra arenisca, pizarra, de cualquier color. La gama de productos incluye columnas, mesas de banco, cornisas, arcos, baldosas y elementos similares –cualquier cosa que pueda colarse en moldes–. Para 40 escultura, pueden colarse y esculpirse grandes bloques del presente hormigón aireado, utilizando herramientas de carpintería. Los proyectos de vivienda de bajo coste en todo el mundo son generalmente muy competitivos y tienen un gran volumen, pero dejan un escaso margen al promotor. Se emplea la colada en apilamiento, sobre el terreno, de paneles, utilizando camiones hormigonera, que se cargan con arena, cemento y agua antes de añadir la espuma. Los camiones descargan el hormigón ligero directamente dentro de los moldes. En ciertas partes del mundo, la colada sobre el terreno (colada in situ) es la preferida, en particular, en zonas sísmicas en las que se requiere una estructura de columnas y vigas. Esto puede ser incorporado a la estructura. Los productos de bloques ligeros de elastómeros son materiales ligeros producidos por la mixtura de un lodo cementoso que contiene elastómero, en una preforma tridimensional estable. La espuma se produce diluyendo un concentrado líquido con agua y, a 50 continuación, presurizándolo con aire y haciéndolo pasar a través de una boquilla de acondicionamiento. La espuma es entonces mezclada con una mixtura de base consistente en cemento, cenizas volantes, agua y, en ocasiones, agregado. Esto hace que la mixtura de base se expanda y se haga más ligera. Las burbujas de aire conservan su forma hasta que el cemento se hidrata, atrapando de forma permanente el aire dentro del material. El material es entonces curado utilizando radiación del orden de terahercios, mediante el uso de la tecnología de emisor según se describe en esta memoria. Los materiales son de baja densidad, de peso ligero, pueden hacerse permeables al aire o al agua, o no permeables, y tienen una gran capacidad portante. 55

Puede también fabricarse un material ligero, de celdas abiertas y concebido ingenierilmente que es capaz de reducir las cargas sin alterar o redirigir el flujo natural del agua, y que puede ser utilizado para aplicaciones en las que se necesita drenaje en combinación con un material de peso ligero.

60 Las formas de bloque ligero que pueden prepararse incluyen las siguientes: bloques de hilera, bloques macizos, medios bloques, bloque de esquina, de viga de unión, de esquina redondeada, bloque de chimenea, zapatas de cimentación, bloque de poste, bloque ranurado, pilar de extremo abierto, bloque de cara texturada (por ejemplo, bloque de cara texturada de 10,2 cm, 15,2 cm o 20,3 cm (4”, 6” u 8”)), bloque estriado, y cualquier otra forma

adecuada para la construcción, paisajismo u otra aplicación que se desee.

Materiales ignífugos

El elastómero según se describe en la presente memoria para ciertas aplicaciones de pavimentación puede también ser deseable para uso en aplicaciones a prueba de fuego. Pueden prepararse elastómeros retardadores del fuego mediante la incorporación de componentes ignífugos según se conocen en la técnica, por ejemplo, compuestos basados en fósforo o basados en halógenos, u otros materiales, por ejemplo, materiales de base cerámica, materiales intumescentes, materiales que producen vapores y otros similares. El elastómero puede ser rociado o aplicado de otro modo a una superficie que se ha de hacer resistente al fuego, por ejemplo, vigas estructurales de metal, paneles de techo, espacios interiores de paredes, espacios abuhardillados, espacios interiores de vehículos, barcos, aviones, contenedores de transporte, palés, etc. El elastómero puede ser curado sobre el terreno utilizando la tecnología de emisor para generar radiación del orden de terahercios, según se describe en esta memoria.

Compuestos bromados adecuados para su incorporación al seno de los elastómeros ignífugos incluyen compuestos azido bromados, por ejemplo, linoleil azidoformato bromado, que contiene un promedio de cuatro bromos, tetrabromohexanosulfonilazida, tribromoneopentil azidoformato, nonano-1,9-disulfonilazida bromada, que contiene un promedio de cuatro bromos, poli(etileno sulfonilazida) bromada, que contiene aproximadamente el 40% en peso de bromo y un promedio de 20 grupos sulfonilazido, 2,4,6-tribromociclohexil azidoformato, biciclo[4,4,2]dodecano sulfonilazida bromada, que contiene un promedio de cuatro bromos, tribromociclopentil azidoformato, 2-(tribromociclohexil)acetilazida, 1,4-bis-azidoformiloximetiltetrabromociclohexano, 2,4,6-tribromofenil azidoformato, 2,4,6-tribromofenil sulfonilazida, 2,4,6-tribromobenzoilazida, 2,3,4,5,6-pentabromofenil azidoformato, naftil azidoformato bromado, que contiene un promedio de cuatro bromos, bifenil-bis-sulfonilazida bromada, que contiene un promedio de seis bromos, 2,2-bis(4-azidoformil-3,5-dibromofenil)propano, 2,4,6-tribromobencil azidoformato, 1,4-bis(azidoformiloximetil)tetrabromobenceno, poli(sulfonilazido estireno) bromado, que contiene aproximadamente el 38% de bromo, un promedio de cuatro grupos sulfonilazida, y que tiene un peso molecular de aproximadamente 500, beta,beta,beta-tribromoetoxietil azidoformato, 4-(2,3-dibromopropiloxi)-2,3-dibromobutil sulfonilazida, copolímero de glicidol y epibromohidrina, en el que los grupos hidroxilo se han convertido en grupos azidoformato, y que tiene un peso molecular de aproximadamente 700, beta-(2,3,4,5,6-pentabromofenoxi)etil azidoformato, 3-(2,4,6-tribromofenoxi)-propionilazida, 3-(2,4,6-tribromociclohexiloxi)propil sulfonilazida, dicitohexil éter sulfonilazida bromada, que contiene un promedio de siete bromos, bis-azidoformato bromado, del tetrámero de ciclohexanodiol, que contiene 16 bromos, 3-(2,3,4,5,6-pentabromociclohexiloxi)-benceno sulfonilazida, 4,4'-diazidoformil-2,2'-3,3'-5,5'-, 6,6'-octabromodifeniléter, bis-azidoformato bromado de tetrámero de tetrámero de polifenilenoóxido, que contiene 16 bromos, el tribromoacetil éster de pentaeritritol azidoformato, el tribromobenzoil éster de pentaeritritol azidoformato, bis(2,3-dibromopropil)-2-azidoformiloximalonato, bis(3,4,6-tribromofenil)-2-azidoformiloximalonato, 2,4,6-tribromofenilazidosulfonilmetil cetona, la sulfonilazida de dicitohexil cetona bromada, que contiene un promedio de seis bromos, 4-azidoformiloxi-3-metil-2-butanona bromada, que contiene un promedio de tres bromos, 4,4'-azidoformiloxi-2,2'-3,3'-5,5'-6,6'-octabromobenzofenona, bis[beta-azidoformiloxietil]tetrabromoftalato, 4-azidoformiloxi-2,3-dibromobutiltribromoacetato, 3-azidoformiloxi-2,2-dibromometilpropiltribromoacetato, beta,beta,beta-tribromoetil-3-azidoformiloxipropionato, gliceril tri(azidoformiloxiestearato) bromado, que contiene un promedio de cinco bromos y se ha sustituido con aproximadamente un grupo fosfato por molécula, de tal manera que el azidormato de la aducción de óxido de etileno de 2,4,6-tribromofenol contiene, en promedio, dos grupos de óxido de etileno, el azidoformato de la aducción de epibromohidrina de 2,4,6-tribromofenol contiene, en promedio, tres grupos epibromohidrina, beta,beta,beta-tribromoetil-4-azidosulfonilfenilcarbamato, N-(azidoformiloximetil)-2,2,2-tribromoacetamida, y N-(azidoformiloxietil)-2,2,2-tribromoacetamida.

Materiales basados en el fósforo adecuados para su incorporación en el seno de los elastómeros resistentes al fuego incluyen fosfato de diamonio, fosfato de monoamonio, o mezclas simples o complejas de tales fosfatos. Retardadores del fuego particularmente adecuados de esta variedad se preparan haciendo reaccionar ácido fosfórico acuoso con un óxido de alquileo, tal como el óxido de etileno, el óxido de propileno o el óxido de butileno. Véase la Patente de los EE.UU. Nº 3.900.327, que describe retardadores del fuego formados haciendo reaccionar de 0,5 a 1,5 partes de óxido de etileno por peso de ácido ortofosfórico. Un retardador del fuego mejorado de esta variedad se divulga en la Patente de los EE.UU. Nº 4.383.858, en la que un óxido de alquileo de 2 a 4 átomos de carbono se hace reaccionar con ácido fosfórico acuoso, de manera que la proporción de pesos entre el óxido y el ácido se encuentra en el intervalo entre aproximadamente 0,01:1 y aproximadamente 0,25:1.

Son bien conocidos en la técnica los retardadores del fuego inorgánicos, e incluyen, sin limitación, ciertas sales de fosfatos tales como el polifosfato de amonio, óxidos metálicos, boratos y compuestos similares. En una implementación de la invención, el retardador del fuego inorgánico es uno que experimenta una reacción endotérmica en presencia de calor o llama (un «retardador del fuego inorgánico endotérmico»). Materiales cristalinos que tienen agua de hidratación constituyen un ejemplo de retardadores del fuego inorgánicos endotérmicos. Materiales inorgánicos adecuados que comprenden agua de hidratación incluyen, por ejemplo, óxidos cristalinos tales como la alúmina trihidrato, el óxido de magnesio hidratado y el borato de zinc hidratado, incluyendo $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot 31/2H_2O$, $4ZnO \cdot 2B_2O_3 \cdot H_2O$, $4ZnO \cdot 6B_2O_3 \cdot 7H_2O$, $2ZnO \cdot 2B_2O_3 \cdot 3H_2O$, y trihidrato de alúmina, si bien no están limitados por estos. Se entenderá que el término «óxido», tal y como se utiliza en esta memoria, se refiere a sustancias inorgánicas que comprenden al menos un átomo que forma al menos un enlace doble con el oxígeno, e incluye sustancias que tienen un átomo doblemente enlazado con oxígeno, por ejemplo, el MgO, así como

sustancias que tienen dos o más átomos doblemente enlazados con oxígeno, por ejemplo, el borato de zinc. El término «hidratado» se refiere a cualquier sustancia que incluye agua en el estado cristalino, es decir, agua de cristalización, y se utiliza en la presente memoria como sinónimo de la expresión «agua de hidratación».

5 Materiales intumescentes adecuados para su incorporación a elastómeros resistentes al fuego incluyen materiales que reaccionan en presencia de calor o de una llama para producir residuos incombustibles que se expanden hasta formar una espuma celular que tiene buenas propiedades aislantes. Generalmente, los materiales intumescentes incluyen una sustancia polihídrica, tal como un látex, un azúcar o poliol, y un catalizador intumescente que puede ser un agente deshidratante, tal como el ácido fosfórico, habitualmente introducido como una sal o éster. Al calentarse, el ácido cataliza la deshidratación del poliol a compuestos poliolefinicos que son subsiguientemente convertidos en subproductos de carbono. Pueden emplearse agentes soplantes que liberan gases no inflamables al calentarse, a fin de facilitar la formación de la espuma celular. Los revestimientos intumescentes más comúnmente utilizados contienen cuatro componentes básicos, en ocasiones denominados «pigmentos reactivos», dispersos en una matriz de agente aglomerante. Los pigmentos reactivos incluyen (1) un ácido inorgánico o un material que produce un ácido a temperaturas entre 100°C y 250°C, tal como, por ejemplo, polifosfato de amonio, del que se obtiene ácido fosfórico; (2) una fuente de aporte de carbono, tal como un material polihídrico rico en carbono, al que se hace referencia también como un hidrato de carbono, pentaeritritol o dipentaeritritol; (3) una amina o amida orgánica, tal como, por ejemplo, una melamina; y, opcionalmente, (4) un material halogenado que libera gas de ácido clorhídrico al descomponerse.

20 Se ha propuesto que el mecanismo intumescente básico implique la formación de un subproducto carbonoso por la reacción de deshidratación del ácido generado con el material polihídrico. La amina puede participar en la formación del subproducto, pero se describe fundamentalmente como un agente soplante para la formación del subproducto de espuma aislante. Debido a que el subproducto aislante detiene el fuego y permanece sobre el sustrato, ofrece una mejor protección contra el fuego y térmica bajo condiciones graves de incendio, que los revestimientos del tipo no inflamable.

25 Numerosas Patentes y publicaciones han divulgado composiciones intumescentes que contienen uno o más materiales poliméricos en combinación con materiales que contienen fosfatos y materiales que dan lugar a productos carbonícos o carbónicos. En la Patente Europea 0 902 062, las composiciones de revestimiento intumescente pueden comprender copolímeros de viniltolueno / acrilato o polímeros de estireno / acrilato como agente aglomerante de formación de películas. En la Patente de los EE.UU. Nº 3.654.190, el revestimiento intumescente contiene un copolímero de viniltolueno / butadieno sólido, asociado a un caucho natural clorado que actúa como formador de subproductos. En la Patente Europea 0 342 001, un agente aglomerante polimérico para revestimientos intumescentes comprende copolímeros formados de un primer monómero en una cantidad predominante, y de un segundo monómero en una cantidad menor, de tal manera que dicho segundo monómero es un copolímero térmicamente lábil que consiste, preferiblemente, en un aldehído monomérico tal como la acroleína. En la Publicación PCT Nº WO 01/05886, un agente aglomerante polimérico en forma de una emulsión es operativo para formar una película cuando se deja secar la composición. El agente aglomerante polimérico descrito en la Publicación PCT Nº WO/05886 es un copolímero de estireno / acrilato. La industria de los revestimientos busca revestimientos retardadores del fuego que no solo satisfagan los requisitos del retardo del fuego, sino que también posean propiedades de revestimiento deseables.

40 Materiales adecuados para uso en los revestimientos retardadores del fuego de diversas realizaciones, tales como diversos elastómeros, se describen, por ejemplo, en la Patente de los EE.UU. Nº 5.989.706, en la Patente de los EE.UU. Nº 5.925.457, en la Patente de los EE.UU. Nº 5.645.926, en la Patente de los EE.UU. Nº 5.603.990, en la Patente de los EE.UU. Nº 5.064.710, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.635.025, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.345.002, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.339.357, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.265.791, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.241.145, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.226.907, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.221.837, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.210.452, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.205.022, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.201.677, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.201.593, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.137.849, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.028.333, en la Patente de los EE.UU. Nº 3.955.987, en la Patente de los EE.UU. Nº 3.934.066, en la Patente de los EE.UU. Nº 6.207.085, en la Patente de los EE.UU. Nº 5.997.758, en la Patente de los EE.UU. Nº 5.882.541, en la Patente de los EE.UU. Nº 5.626.787, en la Patente de los EE.UU. Nº 5.165.904, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.744.965, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.632.813, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.595.414, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.588.510, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.216.261, en la Patente de los EE.UU. Nº 4.166.840, en la Patente de los EE.UU. Nº 3.969.291 y en la Patente de los EE.UU. Nº 3.513.114.

55 Si bien la divulgación se ha ilustrado y descrito en detalle en los dibujos y en la descripción anterior, tales ilustración y descripción deben considerarse ilustrativas o ejemplares, y no restrictivas. La invención no está limitada a las realizaciones divulgadas, Pueden comprenderse y llevarse a efecto por parte de los expertos de la técnica variaciones en las realizaciones descritas, a la hora de poner en práctica la invención reivindicada, a partir de un estudio de los dibujos, la descripción y las reivindicaciones que se acompañan.

60 A menos que se definan de otra manera, a todos los términos y expresiones (incluyendo términos y expresiones técnicos y científicos) se les dará su significado ordinario y acostumbrado por una persona con conocimientos ordinarios de la técnica, y no deben estar limitados a un significado especial o particularizado, a menos que se

definan expresamente así en la presente memoria. Ha de apreciarse que el uso de terminología particular a la hora de describir ciertas características o aspectos de la invención, no ha de tomarse de manera que implique que la terminología se está redefiniendo en esta memoria para que se restrinja de manera que incluya cualesquiera atributos específicos de las características o aspectos de la invención con los que esa terminología está asociada.

5 Los términos y expresiones que se utilizan en esta Solitud, y las variaciones de los mismos, especialmente en las reivindicaciones que se acompañan, han de interpretarse, a menos que se establezca expresamente de otro modo, como de finalidad abierta, en oposición a la limitativa. Como ejemplos de lo anterior, la expresión «que incluye» debe leerse con el significado de «que incluye, pero sin limitación», «que incluye, pero no está limitado a» o un significado similar; la expresión «que comprende», tal y como se utiliza en esta memoria, es sinónima de «que incluye», «que contiene» o «caracterizado por», y es inclusiva o de finalidad abierta, de manera que no excluye elementos o etapas de método adicionales no mencionadas; la expresión «que tiene» ha de interpretarse como «que tiene al menos»; la expresión «que incluye» ha de interpretarse como «que incluye, pero no está limitado a»; el término «ejemplo» se utiliza para proporcionar casos ejemplares del elemento en cuestión, y no una lista exhaustiva o limitante del mismo; adjetivos tales como «conocido», «normal», «estándar», y términos de significado similar no han de interpretarse como limitativos del elemento descrito hasta un periodo de tiempo dado o de un elemento disponible como si fuera propio de un tiempo dado, sino que, en lugar de ello, debe leerse de manera que abarque tecnologías conocidas, normales o estándar que pueden estar disponibles o ser conocidas en la actualidad o en cualquier tiempo futuro; y el uso de los términos «preferiblemente», «preferido», «deseado» o «deseable», y palabras de similar significado, no ha de interpretarse de manera que implique que ciertas características son cruciales, esenciales o incluso importantes para la estructura o la función de la invención, sino, en lugar de ello, meramente con la intención de destacar características alternativas o adicionales que pueden, o no, ser utilizadas en una realización particular de la invención. De la misma manera, un grupo de elementos vinculados por la conjunción «y» no han de leerse con la exigencia de que todos y cada uno de esos elementos estén presentes en el agrupamiento, sino que, en lugar de ello, deben leerse como «y/o», a menos que se establezca expresamente de otra manera. Similarmente, un grupo de elementos vinculados por la conjunción «o» no han de leerse con la exigencia de que sean mutuamente excluyentes dentro de ese grupo, sino que, en lugar de ello, deben leerse como «y/o», a menos que se diga expresamente lo contrario.

En el caso de que se proporcione un intervalo de valores, se entiende que los límites superior e inferior, y cada valor interviniente entre los límites superior e inferior del intervalo, están abarcados dentro de las realizaciones.

30 Con respecto al uso de sustancialmente cualesquiera términos en plural y/o en singular en esta memoria, las personas con conocimientos de la técnica pueden pasar del plural al singular y/o del singular al plural según sea apropiado al contexto y/o a la aplicación. Las diversas permutaciones de singular / plural pueden exponerse de forma expresa en esta memoria en aras de la claridad. El artículo indefinido «un» o «una» no excluye una pluralidad. Un único procesador u otra unidad puede satisfacer las funciones de diversos elementos referidos en las reivindicaciones. El mero hecho de que ciertas medidas sean referidas en diferentes reivindicaciones dependientes entre sí no indica que no pueda utilizarse de forma ventajosa una combinación de estas medidas. Cualesquiera símbolos de referencia de las reivindicaciones no han de interpretarse como limitativos del alcance.

Se entenderá, adicionalmente, por parte de las personas con conocimientos de la técnica, que, si se pretende un número específico de una referencia introducida en una reivindicación, tal pretensión será explícitamente referida en la reivindicación, y, en ausencia de tal referencia, no estará presente tal pretensión. Por ejemplo, como ayuda a la comprensión, las siguientes reivindicaciones anexas pueden contener el uso de las expresiones introductorias «al menos una» y «una o más» para introducir referencias a reivindicaciones. Sin embargo, el uso de tales expresiones no debe interpretarse de manera que implique que la introducción de una referencia a una reivindicación por medio de los artículos indefinidos «una» o «unas» limita cualquier reivindicación particular que contenga tal referencia a reivindicaciones introducida, a reivindicaciones que contengan una sola de tales referencias, incluso cuando esa misma reivindicación incluye las expresiones introductorias «una o más» y «al menos una», y artículos indefinidos tales como «una» o «unas» (por ejemplo, «una» y/o «unas» han de interpretarse, por lo común, con el significado de «al menos una» o «una o más»); lo mismo reza para el uso de los artículos definidos que se utilizan para introducir referencias a reivindicaciones. Además de ello, incluso si un número específico de una referencia a reivindicación introducida se *menciona* explícitamente, los expertos de la técnica constatarán que tal mención deberá interpretarse, por lo común, con el significado de *al menos* el número citado (por ejemplo, la mera mención de «dos referencias», sin otros modificadores, significa, por lo común, *al menos* dos referencias, o *dos o más* referencias). Por otra parte, en los casos en que se utilice una convención análoga a «al menos uno de A, B y C, etc.», en general, tal construcción ha de interpretarse en el sentido con que una persona con conocimientos de la técnica entendería la convención (por ejemplo, «un sistema que tiene al menos uno de A, B y C» incluiría, aunque no estaría limitado a, sistemas que tienen A solamente, B solamente, C solamente, A y B conjuntamente, A y C conjuntamente, B y C conjuntamente, y/o A, B y C conjuntamente, etc.). En aquellos casos en que se utilice una convención análoga a «al menos uno de A, B o C, etc.», en general, es la intención que tal construcción tenga el sentido con que una persona con conocimientos de la técnica entendería la convención (por ejemplo, «un sistema que tiene al menos uno de A, B o C» incluirá, pero no estará limitado por, sistemas que tienen A solamente, B solamente, C solamente, A y B conjuntamente, A y C conjuntamente, B y C conjuntamente, y/o A, B y C conjuntamente, etc.). Se entenderá, adicionalmente, por parte de los expertos de la técnica que prácticamente cualquier palabra y/o frase disyuntiva que presente dos o más términos alternativos, ya sea en la descripción, ya sea en las reivindicaciones o en los dibujos,

ha de entenderse de manera que contemple las posibilidades de incluir uno de los términos, uno u otro de los términos, o ambos términos. Por ejemplo, la expresión «A o B» se entenderá de manera que incluya las posibilidades de «A» o «B» o «A y B».

5 Todos los números que expresan cantidades de ingredientes, condiciones de reacción, y demás valores, que se utilizan en la memoria deben entenderse como modificados, en todos los casos, por el término «aproximadamente». De acuerdo con ello, a menos que se indique lo contrario, los parámetros numéricos expuestos en esta memoria son aproximaciones que pueden variar dependiendo de las propiedades deseadas que se busca obtener. Como mínimo, y no como intento de limitar la aplicación de la doctrina de equivalentes al alcance de cualesquiera reivindicaciones de cualquier Solicitud que reivindique la prioridad de la presente Solicitud, cada parámetro numérico ha de
10 interpretarse a la luz del número de dígitos significativos que tiene y de las aproximaciones de redondeo común.

Por lo demás, si bien lo anterior se ha descrito con cierto detalle en calidad de ilustraciones y ejemplos para los propósitos de claridad y comprensión, es evidente para los expertos de la técnica que pueden ponerse en práctica ciertos cambios y modificaciones. Por lo tanto, la descripción y los ejemplos no han de interpretarse de manera que limiten el alcance de la invención a las realizaciones y ejemplos específicos descritos en esta memoria, sino, en
15 lugar de ello, de modo que cubran también todas las modificaciones y alternativas que entren dentro del alcance de la invención, según se define por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un sistema emisor para reparar un pavimento asfáltico, que comprende:
un bastidor estructural; y
uno o más paneles emisores, situados dentro del bastidor estructural y que apuntan hacia abajo,
- 5 de tal manera que el bastidor estructural está aislado con una capa de cerámica de alta densidad, de modo que cada panel emisor comprende un emisor seleccionado del grupo consistente en un semiconductor alargado, un conductor de resistencia y un alambre de serpentina, y situado entre la capa de cerámica de alta densidad y una lámina de un material micáceo que exhibe birrefringencia biaxial,
- 10 de tal modo que cada panel emisor está configurado de forma que, en uso, la energía generada por cada panel emisor pasa a través de la lámina del material micáceo e incide en un pavimento asfáltico, de manera que cada panel emisor se ha configurado para producir energía con una densidad de potencia de entre 0,465 W/cm² y 2,325 W/cm² (entre 3 W/in² y 15 W/in²).
- 2.- El sistema emisor de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende adicionalmente una fuente de energía configurada para suministrar potencia eléctrica a los uno o más paneles emisores, de tal modo que la fuente de energía es un generador portátil, preferiblemente un generador diésel, configurado para entregar al menos 250 kW,
- 15 de manera que el sistema emisor comprende, adicionalmente, un mecanismo de interrupción de potencia, un sistema de colocación y un dispositivo de distribución de potencia, dispuesto en al menos parte de los uno o más paneles emisores y en al menos parte del bastidor estructural, de tal forma que el dispositivo de distribución de potencia comprende uno o más disyuntores de circuito u otros mecanismos de interrupción de potencia.
- 20 3.- El sistema emisor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el cual cada panel emisor tiene la forma de un cuadrado o un rectángulo, y en el que se han dispuesto una pluralidad de paneles emisores en un conjunto geoméricamente ordenado, de tal manera que cada panel emisor contacta a tope con un panel emisor adyacente, y de forma que cada panel emisor está conectado en paralelo o en serie con otros paneles emisores.
- 25 4.- El sistema emisor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el cual el bastidor estructural es un bastidor de metal aislado con una capa de una cerámica de alta densidad.
- 5.- Un método de reparación de un pavimento asfáltico, que comprende:
hacer pasar el sistema emisor de acuerdo con la reivindicación 1 sobre un pavimento asfáltico que se necesita reparar,
- 30 de tal manera que el sistema emisor radia energía que tiene una longitud de onda entre 1.000 nm y 10.000 nm al seno del asfalto, hasta una profundidad de 5,1 cm (2 pulgadas), de manera que la diferencia de temperaturas a través de los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores del pavimento asfáltico es de 38°C (100°F) o menor, de forma que la temperatura más alta en los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores del pavimento asfáltico no supera 149°C (300°F), y de modo que la temperatura mínima en los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores del pavimento asfáltico es al menos 93°C (200°F); por lo que los huecos e intersticios existentes en el
- 35 pavimento asfáltico son alterados sin que se produzca deshidrogenación del asfalto del pavimento asfáltico, y por lo que los oligómeros presentes en el asfalto del pavimento asfáltico son enlazados entre sí para formar cadenas poliméricas más largas, con lo cual se mejora la ductilidad del asfalto.
- 6.- El método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el pavimento asfáltico es una superficie de calzada, y en el cual la energía penetra en la superficie de la calzada hasta una profundidad de al menos 5,1 cm (2 pulgadas), de forma que la diferencia de temperaturas a través de los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores de la superficie de la calzada es de 38°C (100°F) o menor, de manera que la temperatura más elevada en los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores de la superficie de la calzada no supera 149°C (300°F), y de modo que la temperatura mínima en los 5,1 cm (2 pulgadas) superiores de la superficie de la calzada es al menos 93°C (200°F).
- 40 7.- El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5-6, que comprende, adicionalmente, generar energía que tiene una longitud de onda entre 15.000 nm y 5 mm para inducir oligopolimerización.
- 45 8.- El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5-6, que comprende, adicionalmente, generar energía que tiene una longitud de onda de 2 mm a 5 mm, con lo que se inicia la formación de enlaces transversales.
- 9.- El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5-8, en el cual se selecciona una longitud de onda de pico de la energía basándose en el pavimento asfáltico que se ha de calentar, opcionalmente mediante ensayos exploratorios llevados a cabo en porciones representativas de la superficie del material de pavimento asfáltico, utilizando un emisor a pequeña escala o mediante referencia a una tabla de datos de cuantía de longitud de onda absorbida en relación con la petrografía de la piedra, el contenido de asfalto / malteno del agente aglomerante, y las categorías de topografía de anchura por profundidad promedio de las grietas.
- 50

- 5 10.- El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5-9, en el cual, antes de la irradiación, se transfiere una composición de placa de calzada prefabricada de piedra gradada y agente aglomerante, opcionalmente en la forma de un rollo o una lámina, a una superficie del pavimento asfáltico que se necesita reparar, como nueva superficie de desgaste recién instalada sobre una base de calzada vieja, de manera que tanto la superficie de desgaste recién instalada como la base de calzada vieja son irradiadas, comprendiendo el método opcionalmente, de manera adicional, una compactación vibratoria de la superficie de desgaste recién instalada y la base de calzada vieja.
- 10 11.- El método de acuerdo con la reivindicación 10, en el cual se instala un imprimador aglomerante o un trazado de nivelación antes de que la composición de placa de calzada prefabricada se transfiera a la superficie del pavimento asfáltico.
- 12.- El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5-11, en el cual la energía es proporcionada por el emisor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-4.
- 13.- El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5-12, en el cual el pavimento asfáltico comprende un agregado que es pavimento asfáltico reciclado.

15

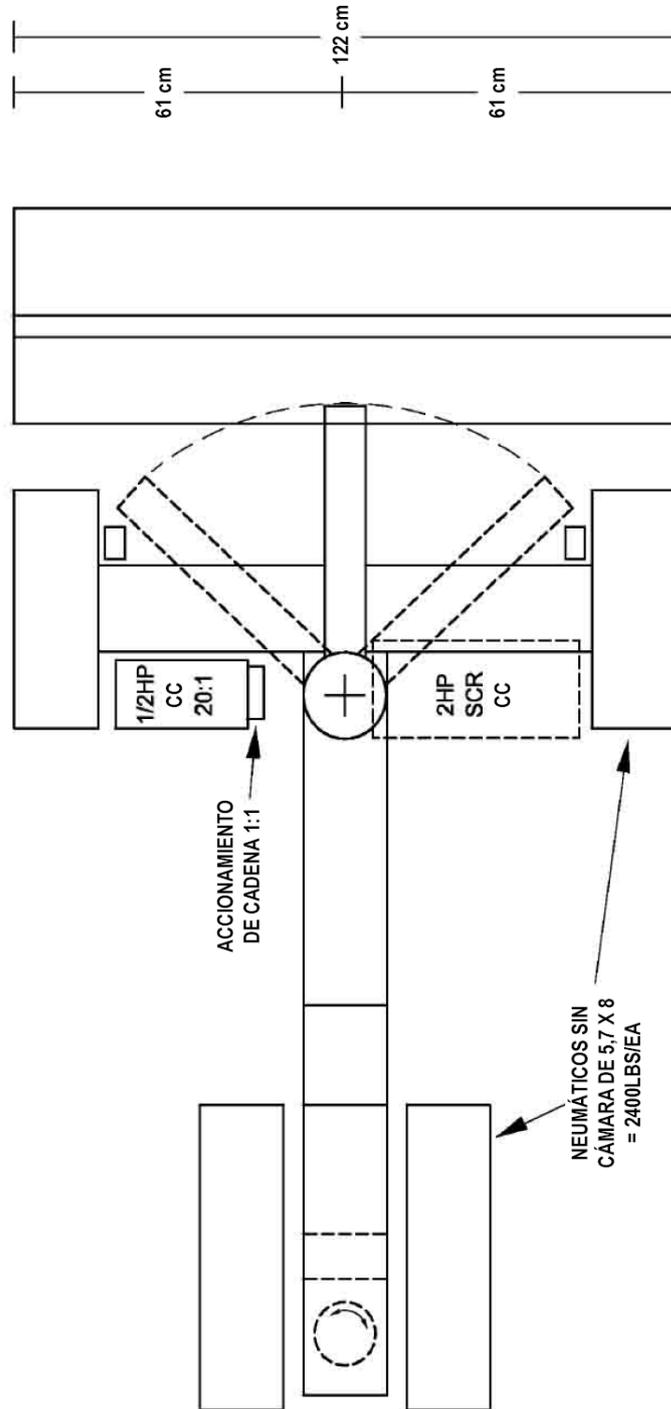


FIG. 1A

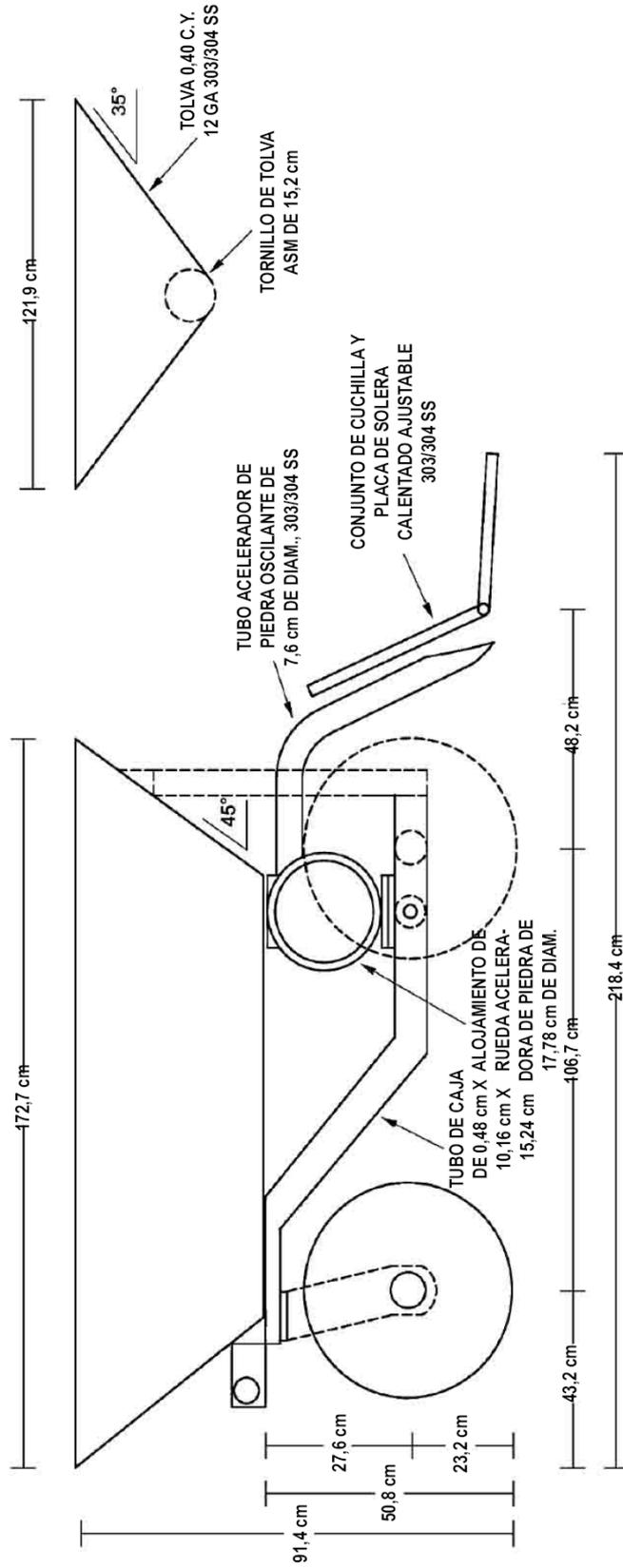


FIG. 1B

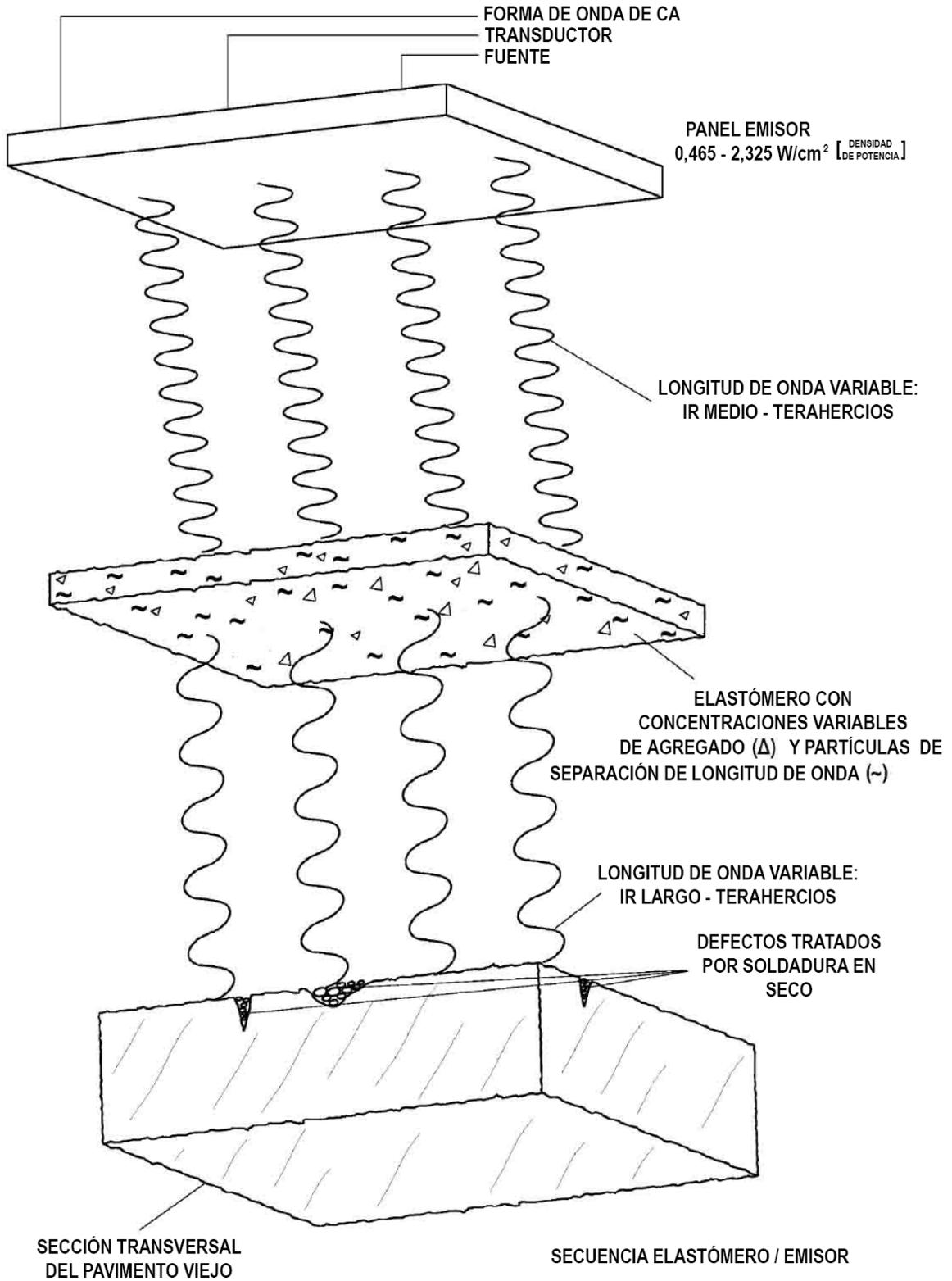
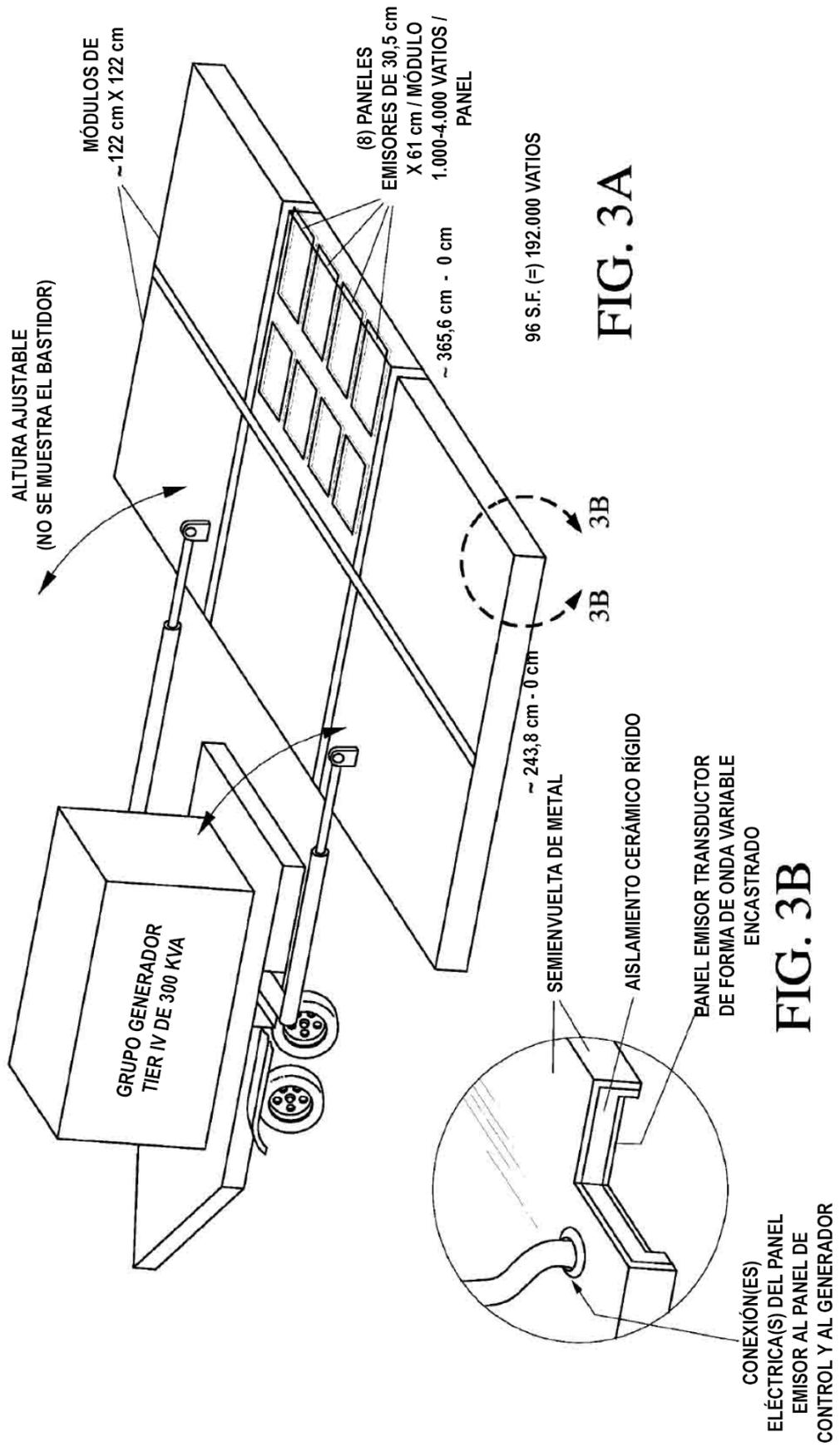


FIG. 2



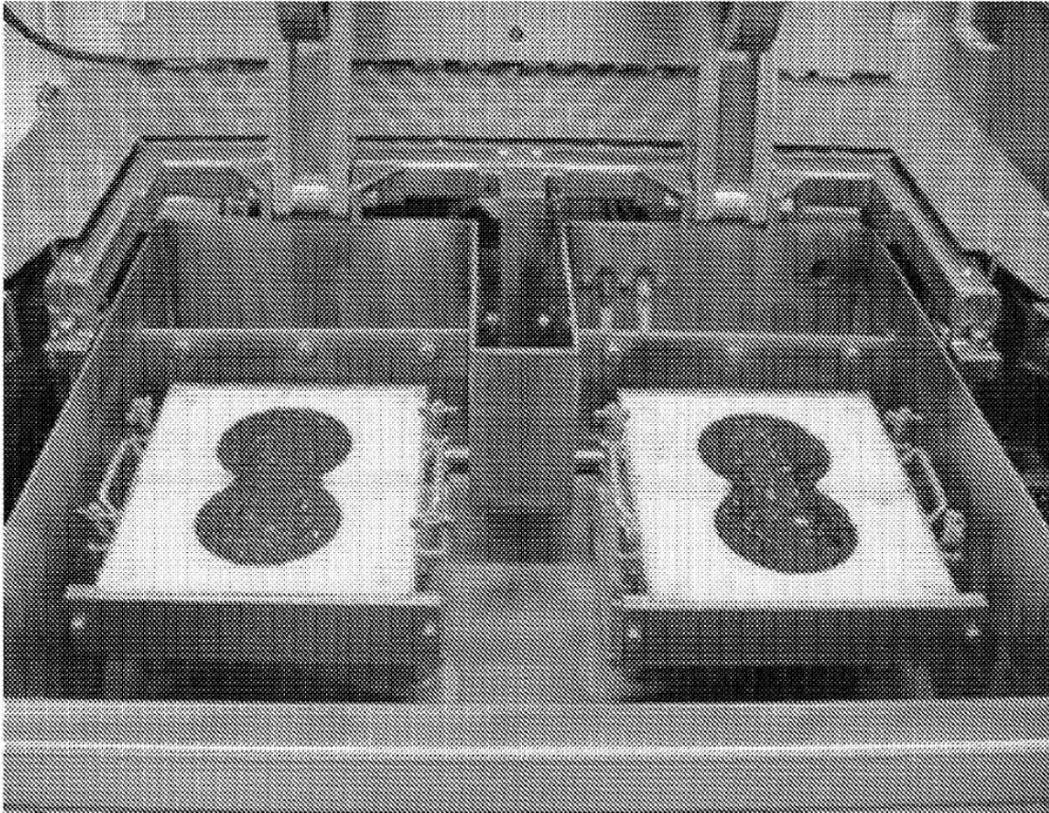
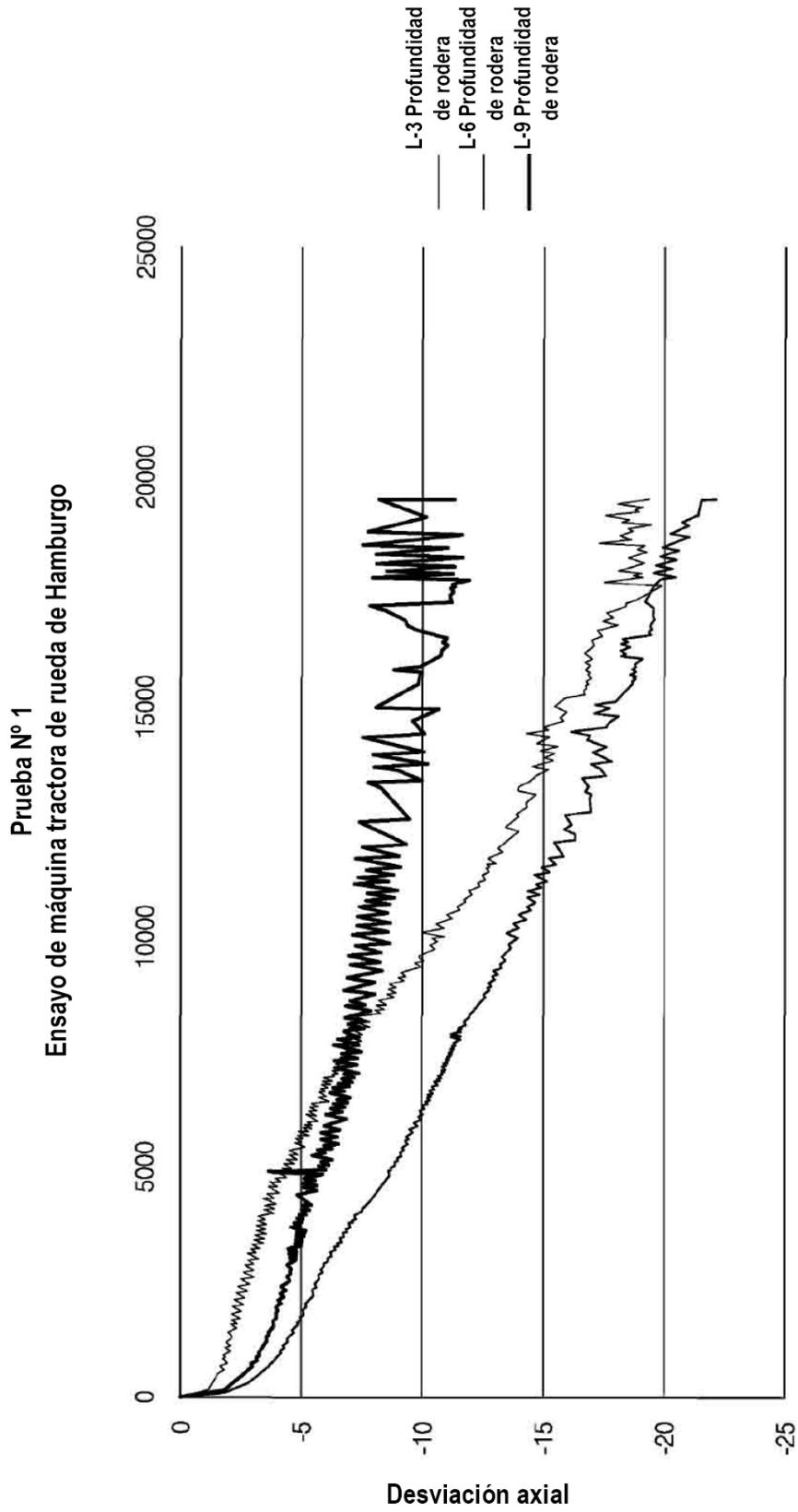


FIG. 5

VARIABLES DE MEZCLA DE DISEÑO		L-3	L-9	R-3	R-9
PKG DE PIEDRA		✓	✓	✓	✓
GRADO DE AGENTE AGLO.		✓	✓	✓	✓
PESO DE AGENTE AGLOMERANTE		✓	✓	✓	✓
SECUENCIA DE APLICACION 1 + 2	1 + 2	✓	✓	✓	✓
XL DE PIEDRA	NO	✓	50%	NO	100%
INTER XL	NO	✓	50%	NO	100%
INTRA XL	NO	✓	NO	NO	20%
TEMP. DE NUCLEO FINAL		✓	✓	✓	✓
CICLOS DE COMPACTACION	100	✓	100	100	100
% DE HUECOS DE AIRE		✓	✓	✓	✓
TEMP. DE INMERSION	60 °C	✓	60 °C	60 °C	60 °C

GRÁFICO DE DESVIACIÓN AXIAL DE HAMBURGO

FIG. 6



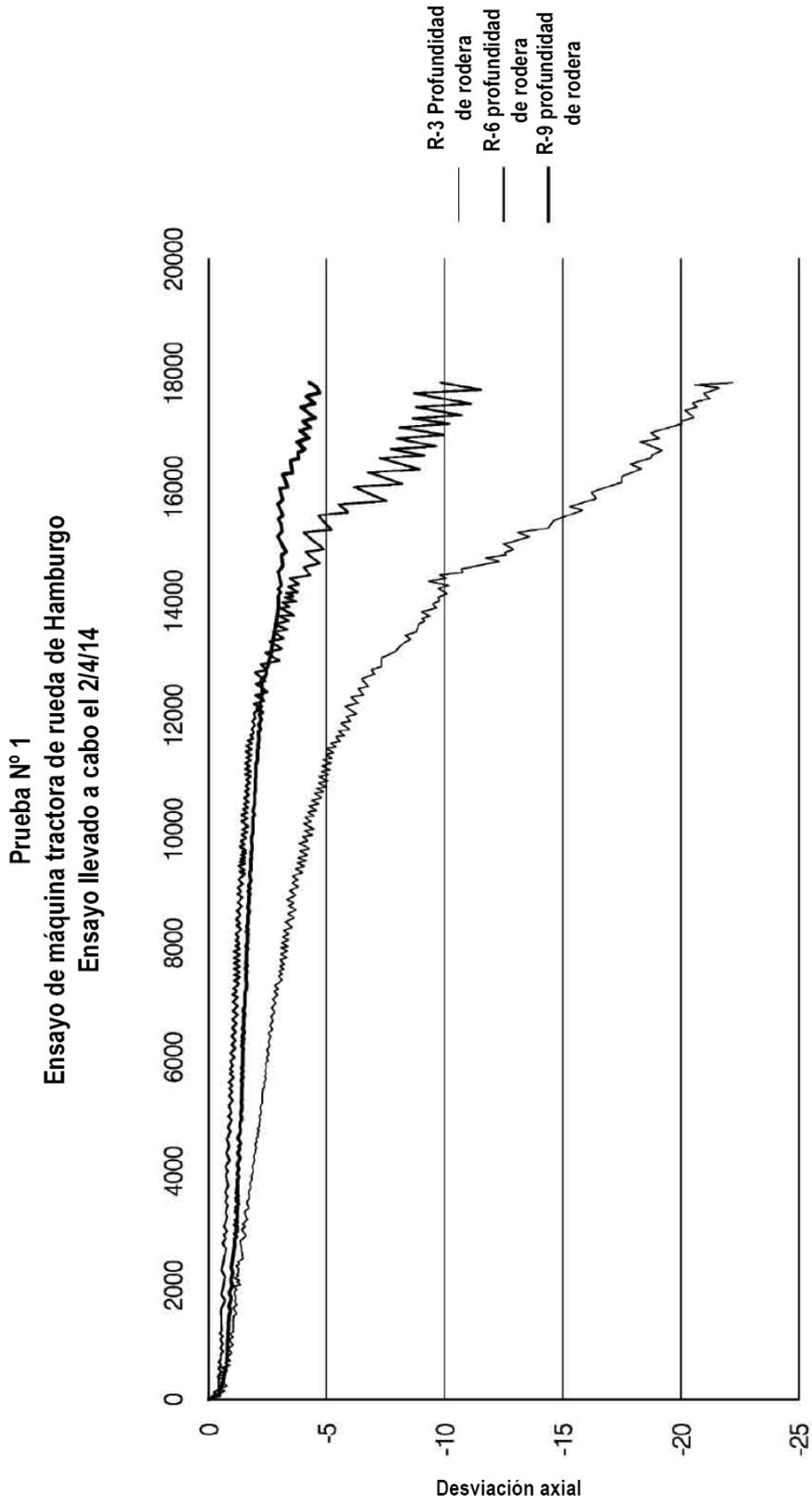


FIG. 7B

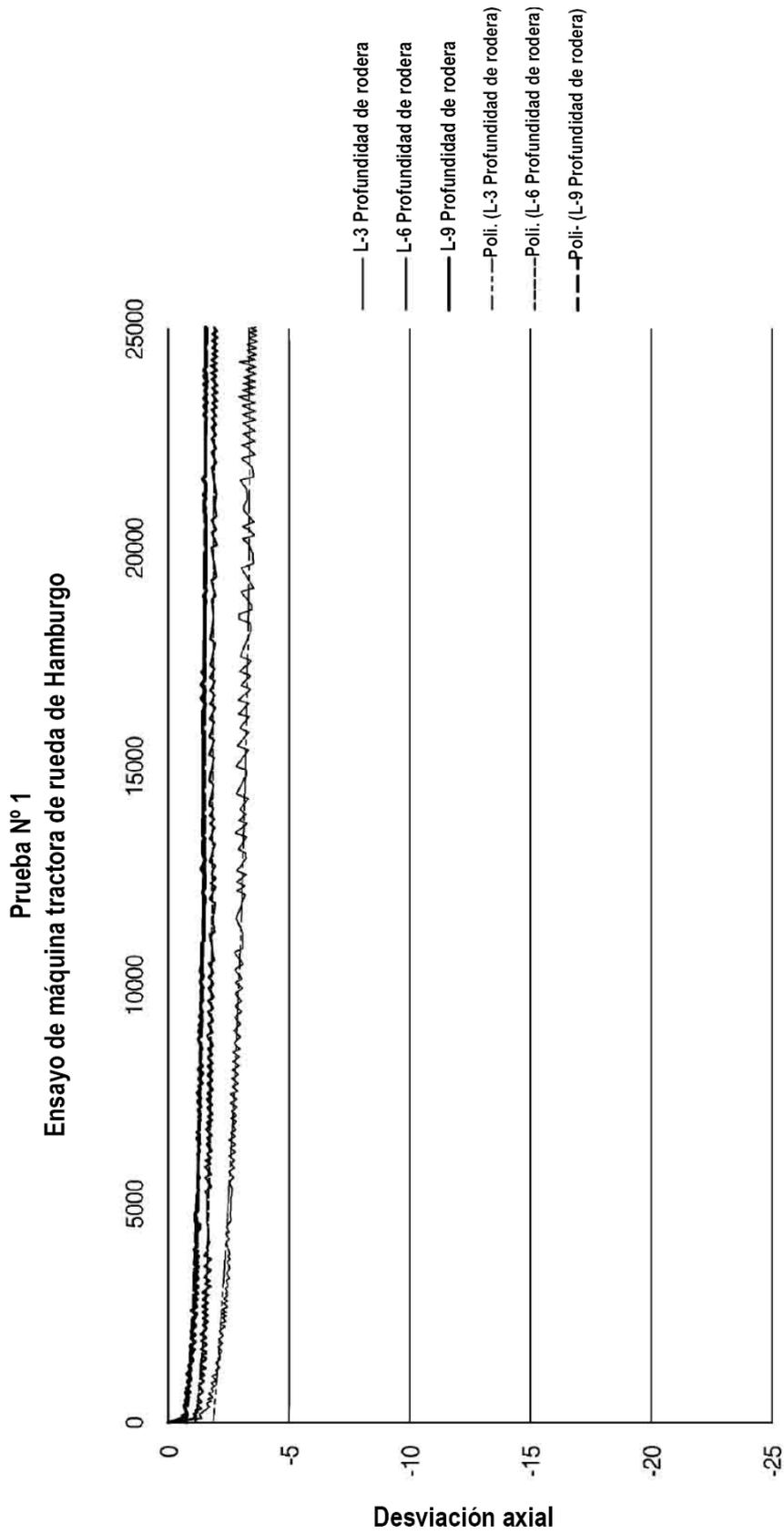
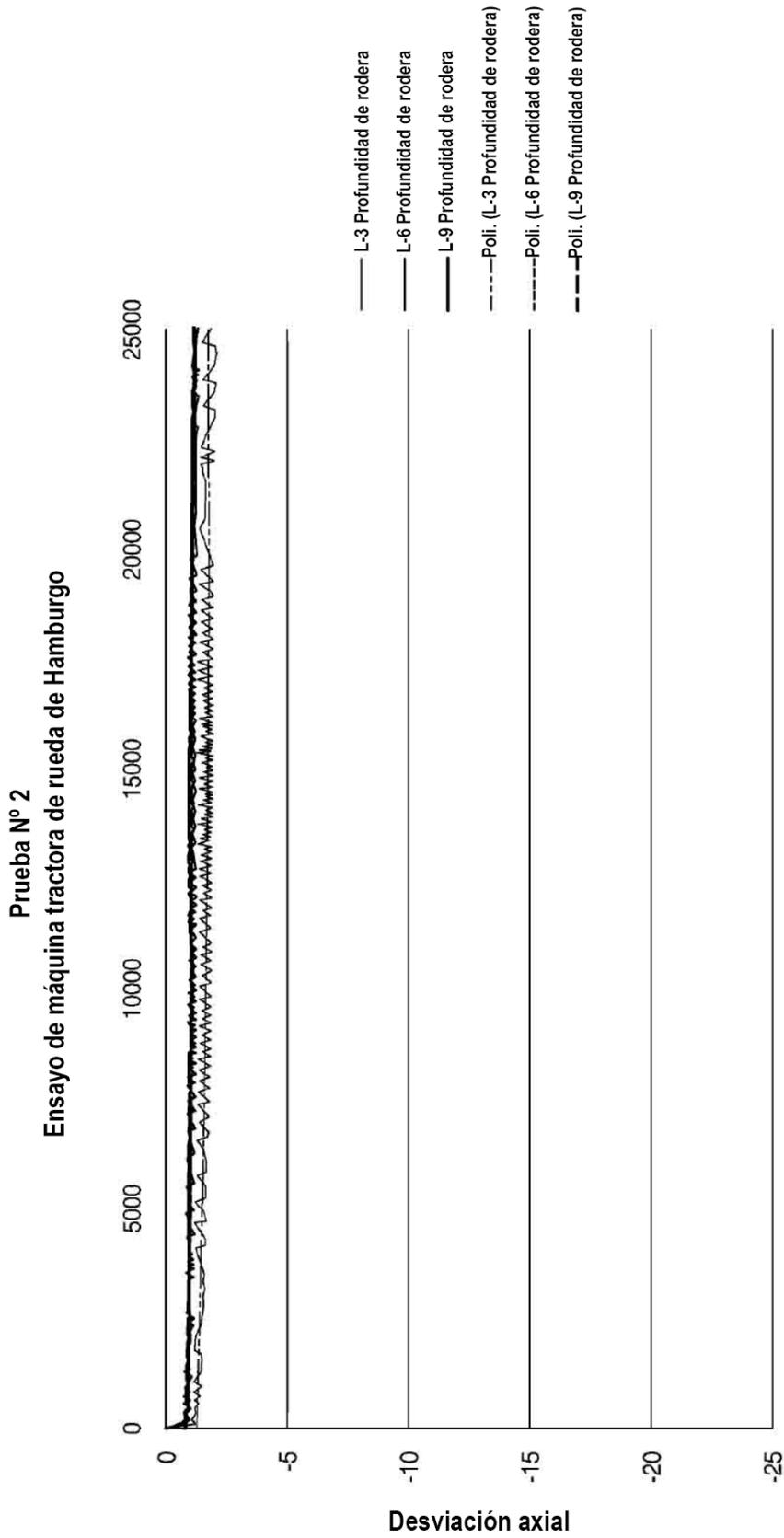


FIG. 8A



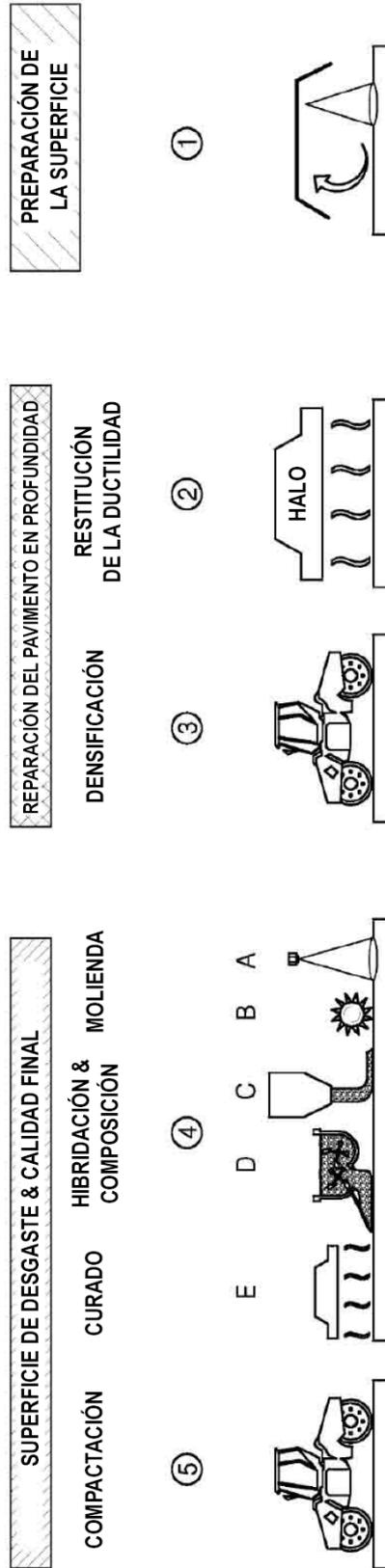


FIG. 9

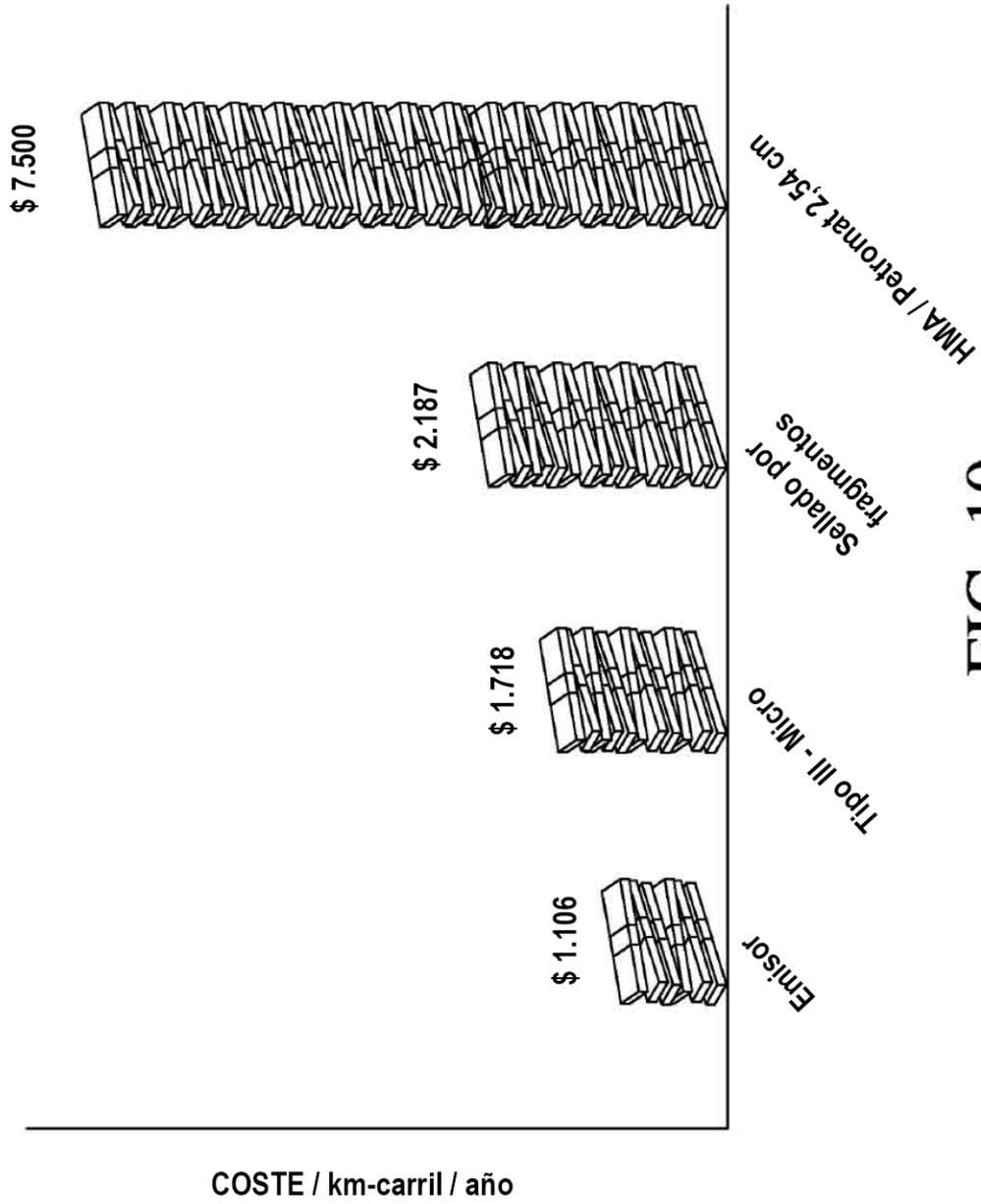


FIG. 10

ELEMENTO	Emisor	Sellado con fragmentos	Microloado - Tipo III	Recubrimiento de 2,54 cm con Petromat
Coste	\$ 4,43 - 8,97 / m ²	\$ 2,99 - 5,98 / m ²	\$ 2,69 - 3,29 / m ²	\$ 9,57 - 14,35 / m ²
Ciclo de mantenimiento	12 - 15 años	5 - 8 años	6 - 7 años (sobre pavimento en buen estado)	6 - 7 años
Transmisión de grietas viejas	Ninguna	2 - 3 años	6 meses	1 - 2 años
Proporción	0 - 4,43 kg / m ²	8,14 - 10,85 kg/m ²	8,14 - 10,85 kg/m ²	Adhesivo: 0,91 - 1,66 l/m ² AC: 48,82 - 54,25 kg/m ²
Estado del pavimento	Marginalmente alterado en lo estructural	Solo sano estructuralmente	Solo sano estructuralmente	Alterado, pero estructuralmente sano
Requerida preparación superficial	- Suciedad, residuos, socavones	- Reparar grietas y socavones - Reparar roderas > 1,27 cm	- Reparar grietas y socavones - Reparar roderas > 1,27 cm	- Reparar grietas y/o fresado superficial - Reparar fallos de orden inferior - Reparar juntas de unión
Restablece valor de desviación profunda de pavimento por ensayo CT 356 FWD	Sí	Despreciable	Despreciable	Despreciable
Aprueba WTD Hamburgo @ 25.000 ciclos/50°C	Sí	NO	NO	NO
Huella de carbono	Neutro	Contribuidor a CO ₂	Contribuidor a CO ₂	Contribuidor a CO ₂

FIG. 11

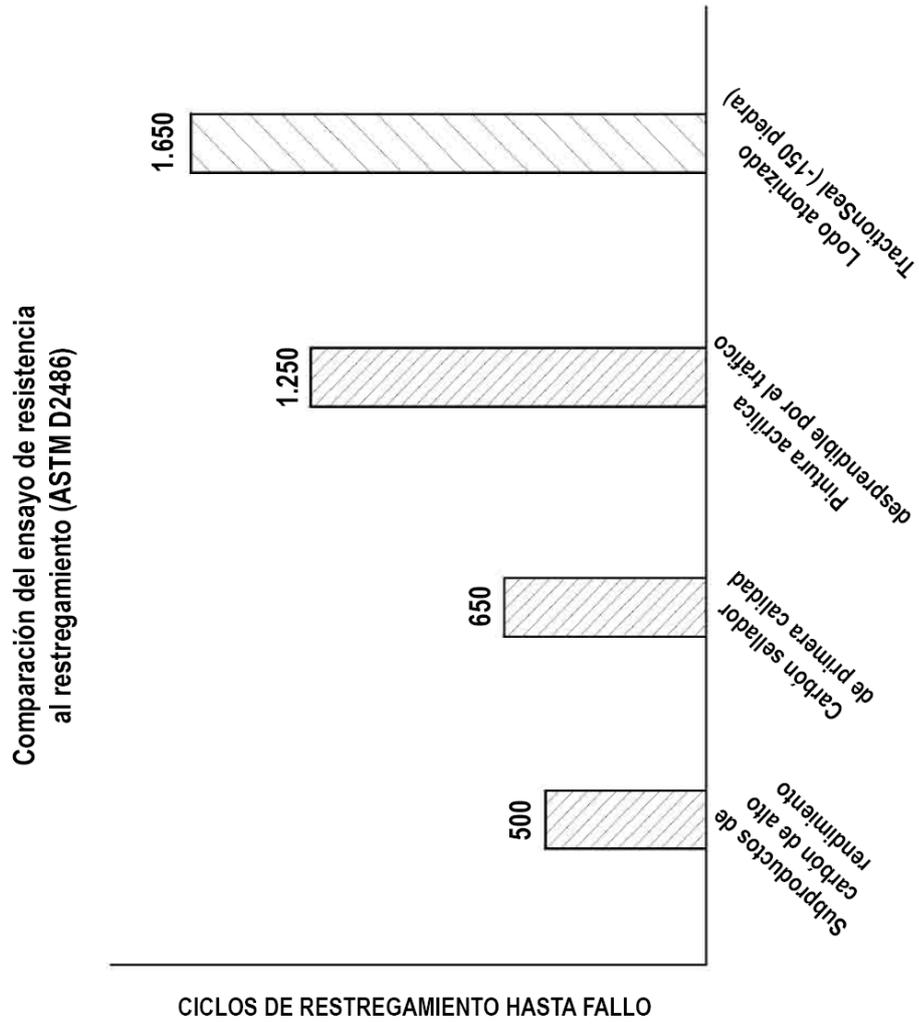


FIG. 12

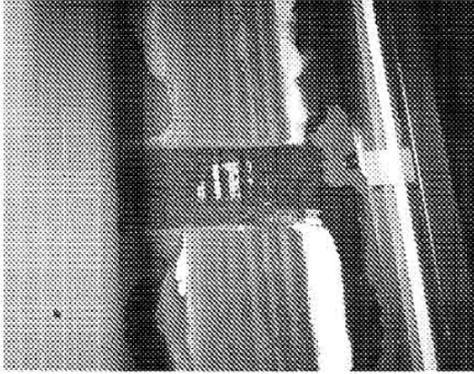


FIG. 13A

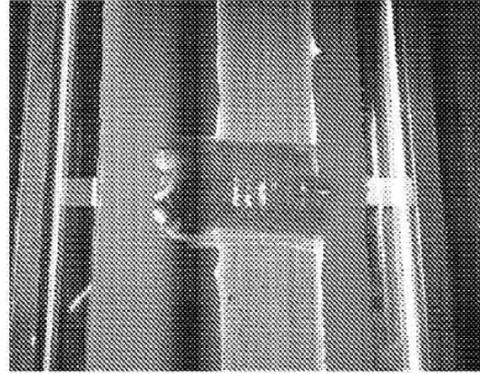


FIG. 13B

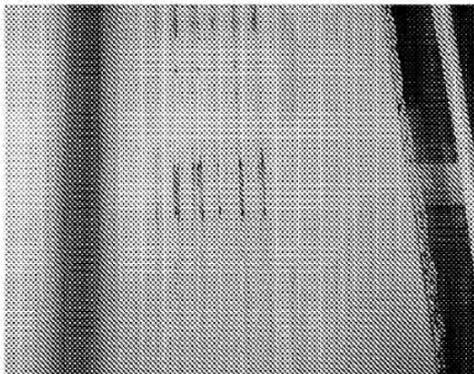


FIG. 13C

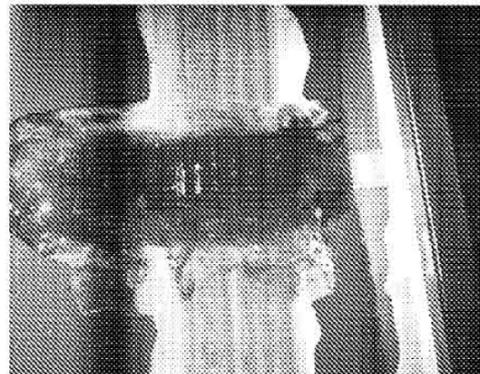


FIG. 13D