



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

CONSIDERACIONES ESPAÑOLAS, OC 2/2023, EN EL DISEÑO PARA REUTILIZACIÓN DE PAVIMENTOS BITUMINOSOS DENTRO DE SU CICLO DE VIDA

Luis Guillermo Díaz Félix¹, Carlos Humberto Fonseca Rodríguez²
Rodolfo Villalobos Dávila³, Iván Emilio Pérez Delgado⁴

¹ Facultad de Ingeniería Civil, UANL, San Nicolás de los Garza, México, luis.diazfl@uanl.edu.mx

² Maestro Emérito del Tecnológico de Monterrey, Monterrey, México, carlos.fonseca@tec.mx

³ PETROTEKNO, S.A. de C.V., Monterrey, México, rvd@petrotekno.com.mx

⁴ Secretaría de Movilidad y Planeación Urbana, Monterrey, México, ivan.perezd@nuevoleon.gob.mx

Resumen

De acuerdo a la orden circular OC 8/2001, España inicia un transitar en la reglamentación e implementación de técnicas constructivas relacionadas con el buen aprovechamiento de los materiales o mezclas bituminosas envejecidas, que son conocidas en el mundo de los pavimentos como mezclas asfálticas recicladas, RAP, (por sus siglas en inglés de Reclaimed Asphalt Pavement). Estas técnicas requeridas en muchos sitios, iniciaron en los años sesenta cuando se detonó la crisis energética, y el desarrollo de técnicas de reciclado, nuevos equipos, y nuevos procesos constructivos insitu y en plantas, se implementaron en los procesos de rehabilitación estructural de pavimentos en vialidades y aeropuertos. En un planteamiento de economía circular, el considerar técnicas como el reciclado insitu de capas bituminosas con emulsión, el reciclado de capas del pavimento con cemento Portland, y el reciclado de capas bituminosas en caliente en plantas, dieron lugar al uso de nuevas prescripciones técnicas, nuevos equipos de construcción y nuevos tipos de materiales, que actualmente coadyuvan a que las emisiones de gases efecto invernadero, GEI; sea cada día menor. En este escrito técnico, se realiza una investigación bibliográfica hasta llegar a la implementación de la orden circular OC 2/2023 sobre reutilización de capas de firmes y pavimentos bituminosos. Se realiza una revisión de enfoque o atención a la calidad de los materiales y de los procedimientos de construcción para la reutilización de RAP.

Palabras Clave: Mezcla asfáltica recuperada, RAP. Diseño de mezclas asfálticas. Rejuvenecedores. Penetración. Grado PG. Propiedades volumétricas. Ciclo de vida.

1. Introducción

La industria de la construcción de vialidades y de los elementos que la conforman como puentes, obras hidráulicas, terracerías, pavimentos y otras más, requieren de actividades que el ser humano realiza y que impone al medio ambiente un compromiso con el cambio climático. Existen otras industrias como la energética, el comercio de bienes, agropecuaria-forestal, manufactura de productos, etc., que producen desechos sólidos, líquidos y gaseosos, que migran sin control afectando negativamente a los elementos básicos de la naturales, suelo, agua y aire.

En el sistema carretero de un país requiere en el proceso de construcción de una remoción del manto verde, de la transformación de materiales naturales y del transporte de materiales, lo cual requiere de un alto consumo de energía, lo cual impone al medio ambiente una alta carga de Gases de Efecto Invernadero, GEI, y agresión a los hábitats de fauna y flora (Bióticos) de los ecosistemas existentes.

En el mismo tenor, los procesos de construcción y conservación de carreteras generan una fuerte cantidad de desperdicios que no es posible hoy en día, depositar en sitios controlados y evitar un



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

impacto al medio ambiente, regularmente a los suelos, agua y aire (Abióticos). Otros tipos de impacto que estos procesos generan son en la parte social, económica y cultural (Humanos), y de todos los tipos de impactos, el objetivo que debe primar es mitigar los que tengan un contexto negativo y potenciar aquéllos que son positivos.

Con relación a la construcción de pavimentos, ambos tipos flexibles y rígidos, las actividades necesarias para su construcción también imponen carga ambiental y es por ello que es de suma importancia recurrir a tecnologías que mitiguen este impacto, como puede ser el reciclar o reusar materiales que han cumplido, en su ciclo de vida, con el servicio eficiente que prestan a los usuarios de las carreteras. En el caso de pavimentos flexibles o asfálticos, todas aquellas capas compuestas con agregado pétreo y cemento asfálticos, son un reservorio de materia prima para nuevos pavimentos, y de ellos se obtiene el producto conocido como RAP (por sus siglas en inglés Reclaimed Asphalt Pavement), cuyo uso presenta un ahorro importante en la emisión de contaminantes como GEI, Dióxido de Carbono, CO_2 , Metano, CH_4 y Óxido Nitroso, N_2O .

Durante las diferentes etapas de la vida útil de las mezclas asfálticas, la oxidación del cemento asfáltico conlleva a la pérdida de aromáticos, incrementándose el tamaño molecular de los asfaltenos, aunque no se espera que esto sea en gran medida, los fenómenos de oxidación producen emisión de CO_2 al ambiente. [1]. La Figura 1 detalla el efecto que los fenómenos de oxidación tienen sobre el cemento asfáltico, un incremento en los compuestos de alto peso molecular y la emisión de CO_2 al medio ambiente.

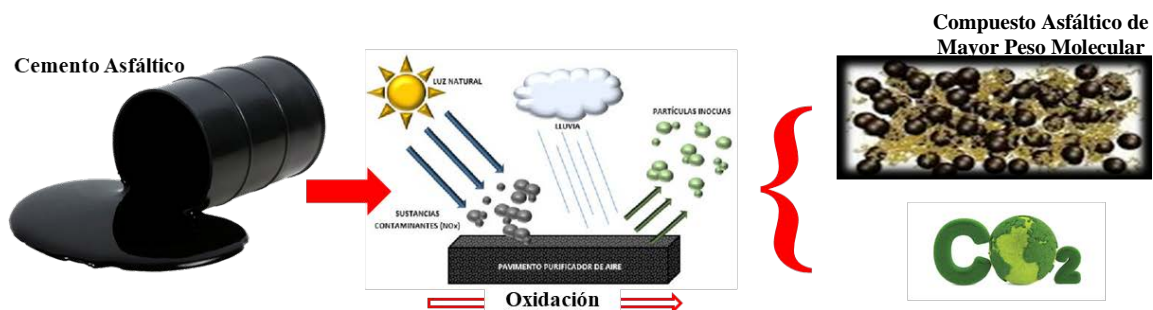


Figura 1. Emisión de CO_2 desde el cemento asfáltico.

La tendencia existente desde ya hace muchos años y con mucha aceptación en varios países europeos es reciclar o reutilizar materiales para no emplear materiales vírgenes de la naturaleza, y poder darle el correcto trasiego y destino a aquellos que ya cumplieron con el servicio dentro de la vida útil de los pavimentos

Entre el espesor de la capa, la temperatura de la mezcla asfáltica y la temperatura al aire, juegan a tres bandas en el proceso de densificación, en cual hay que tener claro que entre mayor es el gradiente de temperatura, ΔT , entre mezcla asfáltica y temperatura al aire, mayor será el flujo o transferencia de calor. Este fenómeno físico se da mediante un traspaso de energía calorífica de la mezcla asfáltica en caliente hacia el medio ambiente, conocido como radiación, hasta lograrse un equilibrio térmico tipo exotérmico. Una mezcla asfáltica en caliente, 150°C , en una capa gruesa de 10.0 centímetros, para llegar a la temperatura de compactación de 120°C requiere de más tiempo que una capa delgada de 3.0 centímetros en las mismas condiciones. Este tiempo es función de flujo de calor neto el cual se determina considerando la diferencia de temperaturas a la cuarta potencia de la temperatura absoluta, de acuerdo al enunciado Kelvin-Planck.



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

2. Antecedentes

Entre los años 1975 y 1980, el empleo del RAP, (por sus siglas en inglés de Reclaimed Asphalt Pavement), se convirtió en una alternativa de rehabilitación en los Estados Unidos de Norteamérica, y con la finalidad de poner lineamientos, orden y directrices a esta área, la NCHRP, (por sus siglas en inglés de National Cooperative Highway Research Program), patrocinó un proyecto de investigación, con la finalidad de dar pautas para el reciclaje de pavimentos. [2].

En este intento temprano en tiempos actuales, permitió definir las ventajas del reciclar, realizar análisis preliminar que permitiera considerar el reciclado como alternativa de rehabilitación, identificar una metodología adecuada en cuanto al diseño estructural, diseño de mezclas asfálticas, procedimientos de construcción y control de calidad.

En estos inicios se definieron, dentro del reciclado de pavimentos asfálticos, técnicas que fueron categorizadas como superficiales, in situ y planta central, aplicadas solamente como tratamiento superficial, o en capas superficiales de espesores menos o mayor a 5.0 cm, en frío y en caliente.

Un referente técnico desarrollado por Rebecca McDaniel, R. y R. Michael Anderson, en 2001, nombrado Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Technician's Manual, NCHRP Report 452, es un manual que da guía para el estudio de las propiedades del RAP, definición de las propiedades del cemento asfáltico envejecido y nuevo, desarrollo del diseño de la mezcla asfáltica, y ejemplos de diseño. [3].

El manual que se desarrolla y publica mediante el NCHRP Report 452, tomó como base para los métodos desarrollados el trabajo previo nombrado como NCHRP Project 9-12, "Incorporation of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave System".

De acuerdo a la bibliografía y documentos existentes desde varios años, de instituciones y contratistas, al ser el reciclaje in situ esto aporta, [4]:

- (a) Reduce el uso de recursos naturales;
- (b) Elimina materiales generados para su eliminación;
- (c) Reduce el consumo de combustible;
- (d) Reduce el efecto invernadero, reduciendo las emisiones de gases entre un 50% y un 85%;
- (e) Minimiza los tiempos de cierre de carriles;
- (f) Mejora seguridad del conductor al mejorar la fricción, ampliar el carril y eliminar la superposición caída del borde;
- (g) Mantiene espacios libres de altura, lo que elimina la necesidad de ajustar accesorios;
- (h) Aborda las deficiencias materiales existentes, como los daños por humedad;
- (i) Reduce los costos de conservación, mantenimiento y rehabilitación; y
- (j) Mejora el soporte de la base con una capa de rodadura mínima necesaria.

Se cuenta con métodos de reciclaje de pavimentos que responden a las necesidades que las estructuras de pavimentos tienen. Reciclado InSitu en caliente, CIR (por sus siglas en inglés de Cold In-Place Recycling), Reciclado InSitu en frío, HIR (por sus siglas en inglés de Hot In-Place Recycling), y Reciclado profundo, FDR (por sus siglas en inglés de Full-Depth Reclamation). [4].
Figura 2.

La aportación de cemento asfáltico que contine el RAP en una mezcla asfáltica nueva, se conoce como aglutinante asfáltico de reemplazo, ABR, (por sus siglas en inglés de Asphalt Binder Replacement), o porción de aglutinante reciclado, RBR, (por sus siglas en inglés de Recycled Binder Ratio), los cuales definen el peso total de conglomerante en el peso de la mezcla asfáltica. [5].

En México en la construcción de nuevos tramos de carreteras, se requiere tener por ley la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), la cual se basa en el Art. 28, fracciones I y VII de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y Artículo 5° Incisos B y O, fracción I, de su Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (REIA), el cual



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

fue publicado el 30 de mayo del 2000 en el Diario Oficial de la Federación, y aplica a la modificación o construcción de carreteras federales, carreteras interestatales y aquellas similares que se realicen parcial o totalmente con fondos de la federación. [6].

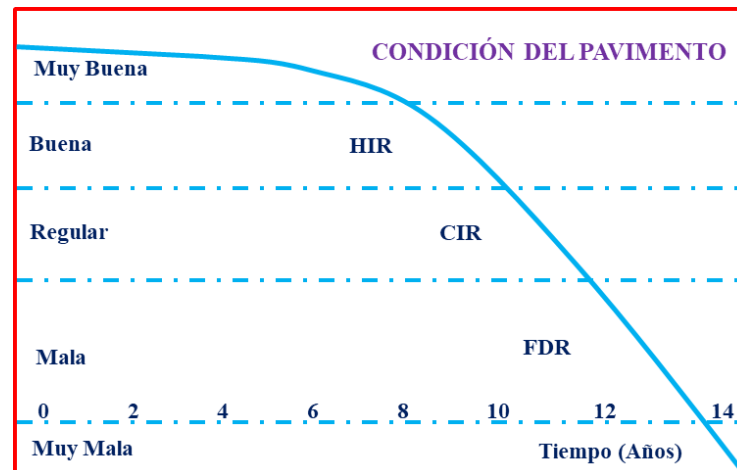


Figura 2. Condición del pavimentos y tipos de métodos de reciclado en frío. [4].

La primera aportación bibliográfica en México y de mucha relevancia que trata las acciones implementadas en el país y en el extranjero, para el manejo o reducción de los efectos de GEI en el ámbito carretero, la realiza López Domínguez y Téllez Gutierrez en 2013, [7]. En Dinamarca en el 2006 se emitieron un total de 52.5 millones de toneladas de CO₂ y el sector transporte contribuyó con 16.0 millones de toneladas, por lo que establecieron el proyecto Cooee para reducir la emisión, el cual consiste en reducir la resistencia al rodamiento en los procesos de conservación de pavimentos, obteniéndose una reducción en el consumo de energía. [8].

También existe el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el cual consiste en un organismo internacional que evalúa el cambio climático. Se estableció por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en 1988, y desde entonces provee al mundo de una visión científica clara sobre el estado del arte del cambio climático y sus posibles impactos ambientales y socio-económicos. Este organismo revisa y evalúa la información científica, técnica y socio-económica más reciente y relevante, desarrollada en todo el mundo para la conocer el cambio climático. [9].

La generación de información y la unificación de criterios para la evaluación de las emisiones de GEI, ha supuesto una inversión de recursos con la idea de establecer índices y homologar metodologías, en otras palabras, hablar un mismo idioma con la finalidad de mejorar la calidad de vida del planeta. Se han desarrollado documento con el objetivo de revisar y actualizar los coeficientes, o factores de emisión, que permiten convertir la energía final en energía primaria y en emisiones de CO₂. [10], [11].

Los avances importantes en la última década han desarrollado tecnologías basadas en el uso de materiales que permiten en los pavimentos asfálticos bajar la viscosidad de los cementos asfálticos hasta en 30°C, de tal forma que su trabajabilidad a temperaturas de 110 a 130°C es muy buena, lo cual reduce la emisión de CO₂ y NO_x. Lo anterior ubica a estas aplicaciones en el concepto de mezclas asfálticas tibias, con las cuales, para una producción de 3.4 millones de toneladas de mezcla asfáltica al año, se reduciría la emisión de CO₂, entre 20 y 30 toneladas. [12].

El empleo del RAP en diferentes dotaciones para la elaboración de nuevas mezclas asfálticas ha llevado a una gran cantidad de estudios, desarrollo de nuevas metodologías, diseño de equipos de



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

construcción para trabajar en frío o en caliente, empleo de materiales de diversas procedencias, etc., evolucionando de contenidos de RAP en sus inicios de hasta 15%, posteriormente hasta un 30%, un 50% y llegar hasta emplear más del 80% de RAP en nuevas mezclas asfálticas. Este incremento de RAP conlleva a una disminución de emisión de GEI y depredación de cerro y montañas para acopio de materiales pétreos. El empleo de RAP va de acuerdo a la filosofía del Protocolo de Kioto, ya que contribuye a desarrollo sustentable de países con economías crecientes, con proyectos que aporten soluciones de disminución de GEI.

En los Países Bajos se trabaja con metodologías, con alta incertidumbre, que presentan una reducción de la huella del carbono entre un 55 a 64%, por tonelada de mezcla asfáltica manufacturada a 105°C, hasta con un 93% de RAP, y comparada con otra mezcla asfáltica con un 0% de RAP y producida a 175°C, [9], y con el cambio de la matriz energética, para el año 2030, se puede reducir la huella aún más, en un 10%. [13]. Al emplearse altos contenidos de RAP, en nuevas mezclas asfálticas, es importante poner atención a su contenido de humedad, el cual puede afectar al desempeño de la mezcla asfáltica, vida útil, y al consumo de energía durante su producción. [14].

En la producción de mezcla asfáltica y construcción de pavimentos flexibles, es importante dividir las fuentes de emisión de GEI, considerando las emisiones por consumo de energía y las emisiones por la volatilización o envejecimiento de la mezcla asfáltica. Muchos investigadores han realizado trabajos relacionadas con los métodos de cálculo de emisión de CO₂, durante la construcción de pavimentos asfálticos. Algunos han empleado método convencional del análisis en el ciclo de vida, (LCA, por sus siglas en inglés de **Life-Cycle Assessment**), para realizar la división y definición de etapas, y calcular las emisiones de CO₂ en cada una de ellas. [15].

El grupo que integra el Comité de Reciclados de la Asociación Mexicana del Asfalto, A. C., AMAAC, trabaja en la elaboración de un Protocolo de Materiales Reciclados nombrado tentativamente como **DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE GRANULOMETRÍA Densa EMPLEANDO PAVIMENTO ASFÁLTICO RECUPERADO, RAP**.

En España, la reutilización de los materiales que componen los pavimentos asfálticos, visto de una manera eficaz y eficiente, y también relativamente sencilla desde un punto de vista técnico, lo lleva a cabo el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, mediante la Dirección General de Carreteras, quienes a través de las órdenes circulares van destacando la evolución de la normativa de pavimentos asfálticos durante las dos últimas décadas.

3. Objetivo

Estudiar el caso de la normativa española relacionada con el reciclado de firmes y pavimentos bituminosos, mediante el seguimiento de las actualizaciones y novedades en cuanto al espectro de nuevas técnicas y el incremento en los porcentajes de RAP, (RA en España).

4. Metodología

El trabajo técnico descrito en este documento, sigue una metodología de investigación bibliográfica necesaria para conocer los procesos de estudios, diseño, construcción y control de calidad de capa de pavimentos flexibles, construidas con mezclas asfálticas que contienen un importante contenido de RAP (RA en España). Este estudio del caso español, reviste de importancia por las buenas prácticas realizadas, por lo simplificado de la metodología de reutilización en caliente/semicaliente en central de mezclas bituminosas, y por los casos exitosos obtenidos, de los cuales es importante obtener las lecciones aprendidas.



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

5. Descripción de Órdenes Circulares

En su momento, 6 de febrero de 1976, el Ministerio de Obras Públicas español aprobó para la Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales, el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, PG-3/75, el cual se registró como el segundo texto que incluye las Partes 1 y 8. Previo a esta aprobación, ya se contaba con las Partes 2, 3, 4, 5, 6 y 7, del primer texto de febrero de 1965. Ya con el documento completo, estos han tenido modificaciones en los capítulos técnicos que integran las Partes en diferentes tiempos hasta la fecha. [16]. La Figura 3 muestra la portada actual del PG-3.

Lo relativo a conglomerantes hidráulicos y ligantes hidrocarbonados (cementos asfálticos), como Materiales Básicos se actualizaron determinados artículos mediante Orden del Ministerio de Fomento el 27 de diciembre de 1999, así como el 16 de mayo de 2002 mediante la Orden FOM/1382/2002 se actualizaron artículos relativos a la construcción de explanaciones (terracerías), drenajes y cimentaciones. [16].



Figura 3. Serie normativa e instrucciones de construcción en España. [16].

En lo relativo a firmes y pavimento se actualizaron ciertos artículos mediante la aprobación con la Orden FOM/891/2004 del 01 de marzo de 2004. A lo largo de todos estos años se han dado muchas modificaciones que atienden a la experiencia acumulada en la Red de Carreteras del Estado español. [16]. Esta evolución tecnológica ha dado lugar a usos de nuevos materiales, cementos asfálticos modificados, sistemas constructivos específicos de pavimentos, cambios en las especificaciones, adaptación a la normativa europea, y el caminar de la mano con el medio ambiente mediante el manejo adecuado de residuos, subproductos inertes y materiales reciclaros, todo dentro de una economía circular.

En los países de la Unión Europea existe una gran colaboración para el intercambio de información y desarrollo de normativa de pavimentos comunes, y en el caso español se han generado órdenes circulares que son empleadas para destacar la normativa de firmes y pavimentos asfálticos que han evolucionado en las pasadas dos décadas, poniendo de manifiesto los avances, experiencias y amplitud del conocimiento.

Hace veintitrés años se inició en España con la Orden Circular OC 5/2001, relacionadas con técnicas en pavimentos flexible y en pavimentos rígidos, como riegos asfálticos, mezclas asfálticas,



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

mezclas hidráulicas, cambiando el contenido y ampliando el alcance de varios artículos del PG-3. Posteriormente, se creó el PG-4 y mediante la OC 8/2001 se publicó lo relativo al reciclado de pavimentos, el cual fue el primer documento autorizado en España. [17]. “En línea con dicha OC 8/2001, las Órdenes FOM/3459/2003 y FOM/3460/2003 aprobaron las nuevas Norma 6.3 IC “Rehabilitación de Firmes” y Norma 6.1 IC “Secciones de firme”, de la Instrucción de Carreteras”. [17].

Con el objetivo de facilitar e incentivar el uso de materiales reciclados en la manufactura de mezclas asfálticas clasificadas en los artículos 542 y 543, calientes y semicalientes, del PG-3 español, se tienen vigente la Orden FOM/2523/2014 introduciendo cambios en el PG-3.

De una manera gradual se fue anulando el contenido de OC 8/2001, ya que con la autorización y publicación de OC 40/2017 sobre reciclado de pavimentos flexibles se introdujeron actualizaciones y novedades, ampliando el espectro de técnicas y empleo de mayores proporciones de material reciclado dentro de la mezcla asfáltica. Lo anterior, siguió las especificaciones y cumplimiento obligatorio del uso de material reciclado por la normativa del mercado de la Comunidad Europea, CE.

Con todo los cambios y actualizaciones en las técnicas para la ejecución de reutilizar pavimentos asfálticos, es de aplicación hoy en día en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para obras de carreteras en los artículos de la Parte 5, que a continuación se listan:

- Artículo 20. Reutilización in situ con emulsión de capas bituminosas.
- Artículo 21. Reutilización in situ con cemento de capas de firme.
- Artículo 22. Reutilización en caliente y semicaliente en central de capas bituminosas.

Por el enfoque de esta investigación se analiza el contenido del Artículo 22 y para fines comparativo de la práctica en México y en Estados Unidos, se realizan comparativas a manera de referencias.

5.1 Artículo 22. Reutilización en caliente y semicaliente en central de capas bituminosas.

La técnica que en España se conoce en el ámbito carretero como material bituminoso a reutilizar o asfalto recuperado, se nombra con las siglas RA. Se define como: “el procedente de la disgregación de capas de mezclas bituminosas (rodadura, intermedia o base), obtenido mediante fresado o demolición, eventual trituración y posterior tratamiento y clasificación. Este material debe estar compuesto por áridos de buena calidad cubiertos por betún asfáltico envejecido”. [17].

El empleo de RA en central para la manufactura de mezclas asfálticas consistente en la la aportación de un betún asfáltico, áridos, polvo mineral, y eventualmente, aditivos, con los que se obtiene una mezcla bituminosa (caliente o semicaliente) de las especificadas en los artículos 542, 543 y 544 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). [17].

“Todos los aspectos relativos a la puesta en obra y control de calidad de estos materiales se llevarán a cabo de conformidad con lo indicado en los artículos 542, 543 y 544 del PG-3, según corresponda a la mezcla bituminosa a fabricar”.

- Art. 542. Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.
- Art. 543. Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas.
- Art. 544. Mezcla bituminosa tipo SMA.



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

5.1.1 Tipos de mezclas bituminosas reutilizadas en función de la temperatura.

“En función de la temperatura necesaria para su fabricación y puesta en obra, las mezclas bituminosas reutilizadas en central se clasifican en calientes y semicalientes, tal y como están definidas en el artículo 545 aprobado mediante la O.C. 3/2022. En estas últimas, el empleo de betunes especiales, aditivos u otros procedimientos, hace posible que la temperatura máxima a la salida del mezclador no sea superior a ciento cuarenta grados Celsius ($\leq 140\text{ }^{\circ}\text{C}$)”.

5.1.2 Tipos de mezclas bituminosas reutilizadas en función de la proporción en masa de RA.

“Las mezclas bituminosas reutilizadas en central se clasifican en función de la proporción de RA en la masa total de la mezcla, de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las mezclas bituminosas reutilizadas. [17].

TIPO	CONTENIDO DE RA (% sobre la masa total de la mezcla)	
	Límite inferior	Límite superior
0	--	≤ 15
1	> 15	≤ 30
2	> 30	≤ 50
3	> 50	≤ 80

5.1.3 Reutilización del asfalto recuperado, RA.

“Todos los materiales recuperados de mezclas bituminosas podrán ser susceptibles de ser reutilizados, incluidos los excedentes de fabricación de cualquier tipo de mezcla bituminosa que, sin presentar problemas de calidad en cuanto a sus componentes y envuelta, no hayan sido colocados en obra (material sobrante, rechazado en la extensión por baja temperatura, etc.), con las excepciones que se indican a continuación”. [17].

“No podrán ser reutilizados con las técnicas especificadas en este artículo aquellos materiales que procedan de pavimentos con deformaciones plásticas, o que contengan o se encuentren contaminados por sustancias potencialmente peligrosas. Tampoco lo podrán ser aquellos materiales bituminosos que presenten en su composición sustancias procedentes de la destilación de productos carbonosos tipo alquitrán, asbesto-amianto, ni ningún otro que esté clasificado como peligroso, o que no cumpla la legislación ambiental y de seguridad y salud vigente”. [17].

“Las mezclas bituminosas reutilizadas en central podrán utilizarse en capas de base, intermedias o de rodadura de los artículos 542, 543 y 544, con la limitación de las mezclas correspondientes a los artículos 543 y 544 del PG-3, en las que el contenido máximo de RA será del quince por ciento (RA $\leq 15\%$ en masa de la mezcla final)”. [17].

5.1.4 Ligante hidrocarbonado de aportación.

“El ligante de aportación será seleccionado en función de la proporción de RA en la mezcla final y de la proporción y características del ligante contenido en el RA, de forma que al combinarse con este se obtenga un ligante con características similares a las de los indicados en los artículos 542, 543 y



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

544 del PG-3, en función de la capa de firme a la que se destine la mezcla bituminosa reutilizada, de la zona térmica estival en que se encuentre y de la categoría de tráfico pesado”. [17].

“El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el tipo de ligante hidrocarbonado de aportación que emplear de acuerdo con los artículos 211 o 212 del PG-3 o, en su caso, con la reglamentación específica vigente de la Dirección General de Carreteras relativa a betunes con incorporación de polvo de caucho procedente del tratamiento de neumáticos al final de su vida útil (NFVU), debiendo este cumplir las especificaciones de los correspondientes artículos del PG-3 o de dicha reglamentación específica. Solamente se podrán utilizar betunes asfálticos duros en el caso de MAM en mezclas bituminosas reutilizadas del tipo 0 y 1”. [17].

“En las mezclas bituminosas reutilizadas, se realizará un estudio tanto del ligante envejecido procedente del RA como del ligante final, obtenidos según la UNE-EN 12697-3 en ambos casos. En este estudio se determinarán los valores de la penetración con aguja (norma UNE-EN 1426) y del punto de reblandecimiento (método del anillo y bola, norma UNE-EN 1427) de:

- El ligante contenido en el RA
- El ligante final resultante de la mezcla de este con el ligante de aportación, tanto sobre el ligante en fresco como tras el ensayo de envejecimiento a corto plazo (norma UNE- EN 12607-1)”. [17].
- UNE-EN 12697-1: Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 1: Contenido de ligante soluble.
- UNE-EN 12697-2: Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas.
- UNE-EN 12697-3: Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 3: Recuperación de betún. Evaporador rotatorio.
- UNE-EN 1426: Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la penetración con aguja.
- UNE-EN 1427: Betunes y ligantes bituminosos. Determinación del punto de reblandecimiento. Método del anillo y bola.

“Adicionalmente, en el caso de los betunes modificados y solamente sobre el ligante final fresco, la cohesión (fuerza-ductilidad, norma UNE-EN 13589) y la recuperación elástica a 25 °C (norma UNE-EN 13398), de forma que se compruebe que el ligante final obtenido presenta unas características similares a los ligantes especificados en los artículos 542, 543 y 544 del PG-3”. [17].

- UNE-EN 13589: Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de las propiedades de tracción de betunes modificados por el método de fuerza-ductilidad.
- UNE-EN 13398: Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la recuperación elástica de los betunes modificados.

5.1.5 Áridos de aportación.

“Los áridos de aportación a emplear en las mezclas bituminosas reutilizadas en central deberán cumplir las correspondientes especificaciones recogidas en los artículos 542, 543 y 544 del PG-3, en cada caso”. [17].

5.1.6 Asfalto recuperado.

“El material bituminoso a reutilizar será asfalto recuperado. En ningún caso se empleará material bituminoso fresado, o de otros orígenes, sin el correspondiente tratamiento de clasificación y



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

caracterización. El material bituminoso a reutilizar podrá llegar a la central de fabricación de dos tipos de procedencias”:

- “El RA podrá proceder de un gestor autorizado para el tratamiento de asfalto retirado que haya sido clasificado como residuo de código LER 17 03 02. En este caso, cada camión de RA que llegue a la central de fabricación irá acompañado de un albarán y un certificado de calidad”. [17].
- “O bien, el material bituminoso a reutilizar podrá proceder del fresado de capas bituminosas de la propia obra. En este segundo caso, el contratista está obligado al tratamiento del asfalto retirado, mediante la eliminación de potenciales contaminantes, así como a su clasificación, machaqueo, en su caso, cribado y acopio diferencial, para su transformación en un RA de características adecuadas y homogéneas”. [17].
- Código LER 17 03 02 clasifica el nivel de peligrosidad del residuo reciclado.

“El RA a emplear en la fabricación de mezclas bituminosas de las contempladas en los artículos 543 y 544 del PG-3, únicamente podrá proceder del fresado selectivo de capas de rodadura de la misma naturaleza obtenido de carreteras con categoría de tráfico pesado T1 o superior”. [17].

“En el caso de las mezclas bituminosas reutilizadas tipo AC del artículo 542 del PG-3, destinadas a ser empleadas en capa de rodadura, cuando la proporción de RA en la mezcla final fuera superior al veinte por ciento (20 %) sólo se podrá emplear el procedente del fresado selectivo de capas de rodadura de una categoría de tráfico pesado igual o superior a la carretera en que se fuera a emplear”. [17].

La designación y caracterización del RA se harán, con carácter general, de acuerdo con lo establecido en la norma UNE-EN 13108-8 Asfalto recuperado. En concreto, la designación del RA se realizará mediante la combinación siguiente:

- UNE-EN 13108-8: Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 8: Asfalto recuperado.

U	RA	d/D
---	----	-----

donde:

U Tamaño máximo significativo (retenido máximo del 10%) de las partículas de asfalto recuperado expresado en milímetros.

RA Abreviatura de asfalto recuperado.

d Tamaño mínimo del árido extraído expresado en milímetros.

D Tamaño máximo significativo (retenido máximo del 10%) del árido extraído expresado en milímetros.

El RA acopiado para su empleo en mezclas bituminosas, cumplirá los siguientes requisitos:

Homogeneidad

Tabla 2. Tolerancias admisibles respecto del promedio del lote. [17].

CARACTERÍSTICA		NORMA	UNIDAD	TOLERANCIA
GRANULOMETRÍA DERNIDO TAMICES (mm)	Tamices superiores a 2 mm	UNE-EN 12697-2	% sobre masa total material en seco	± 5
	Tamices de 2 a 0.0125 mm			± 3
	0.063			± 1
CONTENIDO DE LIGANTE		UNE-EN 12697-1		± 0.5
PENETRACIÓN DEL LIGANTE RECUPERADO		UNE-EN-1426	%	± 10



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

Las características de los ligantes por tipo de capa y tasa de reutilización se definen en la Tabla 3.

Tabla 3. Tipos de ligantes por tipo de capa y tasa de reutilización. [17].

TIPO DE CAPA	TASA DE REUTILIZACIÓN	PENETRACIÓN (dmm)	PUNTO DE REBLANDECIMIENTO
RODADURA AC	TIPO 0 y 1	≥ 10	≤ 75 °C
RODADURA BBTM Y SMA	TIPO 0	≥ 10	≤ 75 °C
INTERMEDIA Y BASE	TIPO 0	≥ 5	≤ 78 °C
INTERMEDIA Y BASE	TIPO 1	≥ 7	≤ 75 °C
INTERMEDIA Y BASE	TIPO 2 y 3	≥ 10	≤ 75 °C

6. Conclusiones

De acuerdo a las revisiones de este estudio de investigación, con soporte documental del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, PG-3, a manera de conclusión se puede mencionar lo siguiente.

Las especificaciones para los procesos de reciclado y reutilización del RAP o RA en España, es muy sencillo y adaptado a normas de ensayos muy empleadas a nivel nacional.

Con la experiencia obtenida en los 24 años desde el inicio del uso de RAP o RA, los cambios a las especificaciones se han dado de manera gradual y adoptaron técnica que se iban dominando con el tiempo adquiriendo dominio sobre ellas.

Mediante el estudio de las características física y propiedades del RAP o RA, se determinó su idoneidad para ser empleado y eso se logró mediante centros de acopio y manejo de residuos enfocados a los materiales de pavimentos asfálticos.

7. Referencias

- [1] Mallick, R. B., Bergendahl, J., and Pakula, M. (2009). *A Laboratory Study on CO₂ Emission Reductions Through the Use of Warm Mix Asphalt*. 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, USA, January.
- [2] J. A. Epps, R. L. Terrel, D. N. Little and R. J. Holmgren. (1980). *GUIDELINES FOR RECYCLING ASPHALT PAVEMENTS*. The Association of Asphalt Paving Technologists. Louisville, Kentucky. United State of America.
- [3] Rebecca McDaniel, R. and Anderson, R.M. (2001). Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Technician's Manual. NCHRP Report 452. Transportation Research Board, NRC. Washington, D.C.
- [4] Stroup-Gardiner, M. (2011). Recycling and Reclamation of Asphalt Pavements Using In-Place Methods. A Synthesis of Highway Practice. NCHRP Synthesis 421. Transportation Research Board, National Academy of Sciences. Washington, D.C.
- [5] Fawaz Kaseer, Edith Arámbula-Mercado, and Amy Epps Martin. (2019). A Method to Quantify Reclaimed Asphalt Pavement Binder Availability (Effective RAP Binder) in Recycled Asphalt Mixes. Journal of the Transportation Research Board. <https://doi.org/10.1177/0361198118821366>. Washington, D.C.
- [6] Diario Oficial de la Federación, 30 de mayo del 2000. México, Distrito Federal, 2000.
- [7] López Domínguez, M.G., Téllez Gutiérrez, R. (2013). *Algunas acciones implementadas en México por el cambio climático, y su perspectiva futura*. Publicación Técnica No. 373, Instituto Mexicano del Transporte, IMT, Sanfandila, Querétaro, México.
- [8] Schmidt, B., Dyre, J.C. CO₂ emission reduction by exploitation of rolling resistente modelling of pavements. (2012). Published by Elsevier Ltd. Selection and/or peer review under responsibility of the Programme Committee of the Transport Research Arena 2012. Dinamarca.



**Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.**

- [9] IPCC INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. USA.
- [10] Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector edificios en España. (2014). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE, Madrid, España.
- [11] IPCC INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2006). Draft 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Volumen I, Génova, Suiza.
- [12] Aguayo, O., (2014). La huella de carbón en obras viales. 11° Congreso Internacional PROVIAL. Valdivia, Región de los Lagos, Chile.
- [13] Godoi Bizarro, D., Steinmann, Z., Nieuwenhuijse, I., Keijzer, E., and Hauck.M. (2021). Potential Carbon Footprint Reduction for Reclaimed Asphalt Pavement Innovations: LCA Methodology, Best Available Technology, and Near-Future Reduction Potential. <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>, January. Netherlands.
- [14] Peng, B., Tong, X., Cao, S., Li, W., and Xu. G. (2020). Carbon Emission Calculation Method and Low-Carbon Technology for Use in Expressway Construction. <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>, April. China.
- [15] Peng B, Fan X., Wang X., and Li W. (2017). *Key steps of carbon emission and low-carbon measures in the construction of bituminous pavement*. International Journal of Pavement Research and Technology 476–487. www.elsevier.com/locate/IJPRT. October. China.
- [16] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transportes y Vivienda. Secretaría General de Infraestructuras. Dirección General de Carreteras. (2014). Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, PG-3. Orden FOM/2523/2014. Madrid. Diciembre.
- [17] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transportes y Vivienda. Secretaría General de Infraestructuras. Dirección General de Carreteras. (2023). ORDEN CIRCULAR OC 2/2023 SOBRE REUTILIZACIÓN DE CAPAS DE FIRMES Y PAVIMENTOS BITUMINOSOS. Madrid. Abril.