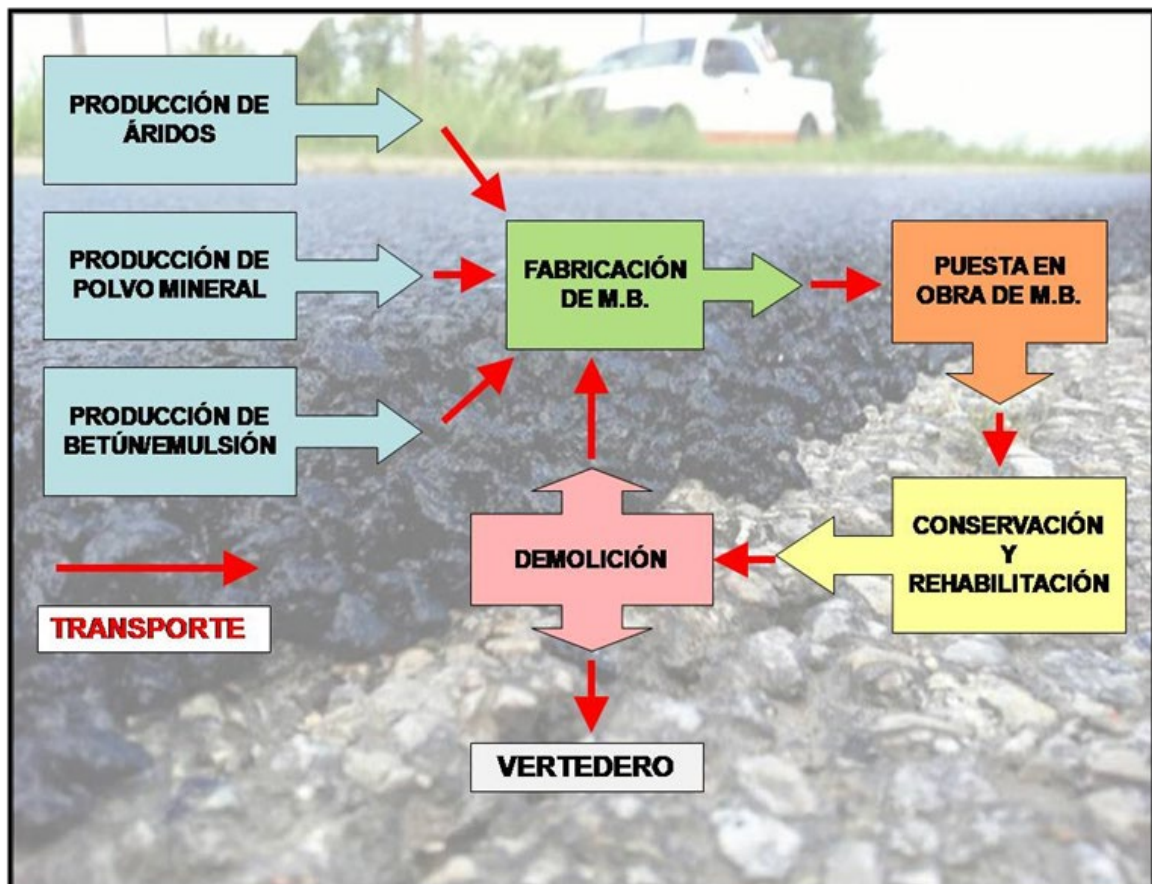


INFORME TÉCNICO

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LAS DISTINTAS TÉCNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SOSTENIBLES EN EL ÁMBITO DE LA RED DE CARRETERAS DEL CONSELL DE MALLORCA



Índice:

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETO	3
2.	ACERCA DEL AUTOR.....	6
3.	DOCUMENTACIÓN ANALIZADA	13
4.	ÁMBITO DEL ESTUDIO.....	16
4.1.	Mezclas asfálticas sostenibles.....	16
4.2.	Mezclas bituminosas analizadas	21
4.3.	Red de carreteras del Consell de Mallorca	23
5.	EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL.....	25
5.1.	Criterios y parámetros ambientales considerados	26
5.2.	Metodología de la evaluación ambiental.....	30
5.3.	Técnicas asfálticas evaluadas	32
5.4.	Evaluación ambiental multicriterio.....	36
5.5.	Resultados ambientales	40
6.	CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL.....	42

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

En el presente informe se describe el desarrollo y resultado de la evaluación de la sostenibilidad ambiental de las distintas técnicas de mezclas asfálticas consideradas como más sostenibles, disponibles y aplicables en el ámbito de la red de carreteras del Consell de Mallorca.

Este trabajo es realizado por Ángel Sampedro Rodríguez, Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos con número de Colegiado 16.110, a través de la empresa *sam-ro consultoría & ingeniería*, por encargo de la Dirección Insular de Infraestructuras del Consell de Mallorca, realizado con fecha 31 de agosto de 2021.

Las mezclas asfálticas consideradas como más sostenibles a evaluar son las propuestas en el ***Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares sobre MEZCLAS ASFÁLTICAS SOSTENIBLES*** redactado como normativa técnica por el Consell de Mallorca en noviembre de 2020, así como sobre otras mezclas que se están contemplando para una nueva versión de esta normativa, cuyo borrador ya ha sido redactado en el mes de octubre de 2021 y puesto a disposición del autor, con lo cual también será objeto de esta evaluación.

Este es, precisamente, el objeto último de este informe, el de servir de base para redefinir la sostenibilidad de las mezclas bituminosas y establecer una clasificación medioambiental entre ellas para la siguiente versión.

Estas mezclas asfálticas, o más correctamente bituminosas según su denominación en España, se proponen frente a las que podrían considerarse como convencionales y que son las que se vienen aplicando habitualmente en la red viaria de Mallorca, correspondientes a mezclas bituminosas en caliente de los tipos hormigón bituminoso (AC), discontinuas (BBTM) y drenantes (PA), empleando como ligante betún asfáltico convencional 50/70 y betún modificado con polímeros PMB 45/80-65. Todas ellas son las soluciones más habituales empleadas en la pavimentación de vías urbanas e interurbanas en todo el territorio español.

La metodología seguida para la evaluación de sostenibilidad consistirá en la consideración de las técnicas clasificadas como más sostenibles, de forma comparada frente a las consideradas como convencionales, y en base a los datos manejados y consolidados en el sector de forma pública, especialmente en base a los trabajos realizados por el autor del presente informe, así como en los recogidos en el *Análisis Ambiental y de Costes en el Ciclo de Vida de firmes y pavimentos*, redactado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y en el cual el autor ha participado como asesor colaborador.

Esta evaluación de la sostenibilidad se centrará en los aspectos ambientales que vienen impuestos por las grandes estrategias que deben regir cualquier actividad, al menos durante la primera mitad del siglo XXI: la **Descarbonización**, caminando hacia la Neutralidad Climática en 2050, la **Economía Circular**, y el cumplimiento de los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**, establecidos en la Agenda 2030.

Mientras que los últimos, los ODS, son más difíciles de cuantificar y evaluar de forma comparada para este caso, los dos primeros criterios serán más fáciles de plantear, basándose en el análisis de la huella de carbono y la gestión de los residuos.

Este análisis se realizará teniendo en cuenta la especial condición de insularidad de Mallorca, dando prioridad a los materiales locales disponibles, teniendo en cuenta las características particulares de mercado existentes, y realizando propuestas de innovación, factor esencial y crítico si se quiere caminar realmente a favor de la sostenibilidad.

Esta sostenibilidad, considerada en sus tres vertientes: económica, social y ambiental, dando prioridad a la tercera dimensión, implica también la consideración y cumplimiento de los denominados *Criterios ESG*, que se refieren a los factores ambientales, sociales y de gobierno corporativo que se deben tener en cuenta en cualquier organización.

ESG son las siglas en inglés de “*Environmental, Social and Governance*”. La E de Environmental engloba el efecto que la actividad de las organizaciones tiene en el medioambiente, de forma directa o indirecta. La S de Social incluye el impacto en el

entorno social, en la comunidad. Y la G de Governance alude al gobierno corporativo de las organizaciones, por ejemplo, a las políticas de transparencia en su información pública o sus códigos de conducta.

La evaluación ambiental realizada en el presente informe parte de una serie de premisas básicas, consistentes en que las mezclas bituminosas más sostenibles consideradas cumplen con la legislación y normativa vigente, y satisfacen las características y prestaciones, tanto funcionales como estructurales, que deben cumplir estos materiales en función de donde sean colocadas.

Además, estas técnicas, en los límites que se van a plantear en el presente análisis, empiezan a estar contrastadas por la práctica, aunque alguna de ellas todavía se encuentra en fase experimental, lo cual también tendrá su ponderación en la consideración final de su viabilidad.

Por último, aunque en el Pliego de *Prescripciones Técnicas Particulares MEZCLAS ASFÁLTICAS SOSTENIBLES* vigente, en su versión de noviembre de 2020, el nombre del autor de este informe figura como consultor, dentro del equipo de trabajo, este quiere manifestar que no ha participado en la redacción de dicho documento, lo cual se entiende que aporta información útil para la imparcialidad del presente estudio.

2. ACERCA DEL AUTOR

El presente informe es redactado por Ángel Sampedro Rodríguez, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (EQF Level 8 – Nivel MECES 4), y Máster en Dirección y Administración de Empresas. Profesor Dr. de Ingeniería de Carreteras en la Escuela Politécnica de la Universidad Alfonso X el Sabio (UAX), y consultor en infraestructuras del transporte y medio ambiente en la empresa *sam-ro consultoría & ingeniería*.

Durante su carrera profesional ha trabajado en empresas líder de estudios, proyectos, construcción y conservación de carreteras y ferrocarriles, siempre compaginándolo con labores de docencia e investigación universitaria en el campo de la ingeniería civil.

Posee más de veinte (20) años de experiencia en firmes y pavimentos, en todo su ciclo de vida: estudio y proyecto, construcción, conservación y rehabilitación, investigación y desarrollo, etc. Ha participado en la redacción y supervisión de normas, recomendaciones, pliegos, publicaciones técnicas, etc., relativos a técnicas innovadoras y sostenibles, tanto a nivel internacional como nacional, autonómico y local: estabilización de suelos y tratamiento de materiales, rehabilitación y reciclado de firmes, mezclas bituminosas a menores temperaturas de fabricación, mezclas bituminosas ultra-delgadas, asfalto espumado o espuma de betún, pavimentos de hormigón, empleo de altas tasas de RAP, residuos de construcción y demolición (RCD), valorización de otros residuos, empleo de aditivos especiales, geomallas de refuerzo, mezclas bituminosas especiales, etc.

De igual manera, posee esos mismos años de experiencia en aspectos ambientales relacionados con la ingeniería de carreteras. Desde antes, incluso, de la aplicación del Protocolo de Kioto, en 2005, ha estado trabajando directamente sobre las implicaciones ambientales en la ingeniería civil, en temas relacionados con la investigación, evaluación ambiental de procesos y productos, Análisis del Ciclo de Vida (ACV), Huella de Carbono y estrategias ambientales, dentro del marco establecido por la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la Descarbonización y Neutralidad Climática, y la Economía Circular.

También ha colaborado de forma activa en el desarrollo y la implantación de los sistemas de Compra Pública de Innovación (CPI) y Contratación Pública Ecológica (GPP) en distintas organizaciones.

Como continuación de todo ello es autor de numerosos trabajos, ponencias y publicaciones nacionales e internacionales sobre diversas temáticas relativas a la ingeniería civil: Geotecnia, Firmes y Pavimentos, Estrategias Ambientales, Análisis del Ciclo de Vida, Emisiones de GEI y Huella de Carbono, Economía Circular, Transformación Digital, etc.

La última publicación ha sido la coordinación del último número de la Revista CARRETERAS, el nº 232, editada por la Asociación Española de la Carretera (AEC), que ha consistido en un Monográfico sobre “*Los ODS y la carretera*”, donde también ha escrito un primer artículo titulado “*Los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la carretera*”.

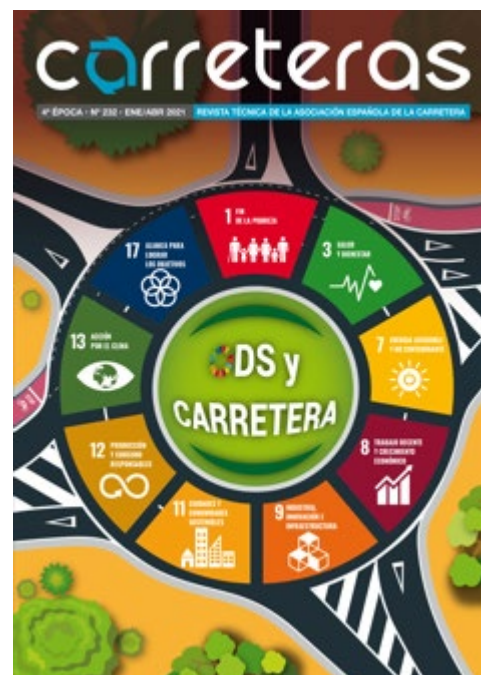


Ilustración 1: Portada del número 232 de la Revista CARRETERAS.

Entre sus últimos logros cabe destacar la puesta en marcha del laboratorio de materiales para firmes de carreteras *ROADLAB SACYR-UAX*, la creación de la *Cátedra PADECASA-UAX*, y el desarrollo de otras colaboraciones universidad-empresa (convenios, prácticas en empresa, proyectos de investigación, premios, etc.).

Actualmente trabaja como consultor en materia de sostenibilidad: gestión y reutilización de residuos, afecciones medioambientales, descontaminación de suelos, análisis del ciclo de vida, huella de carbono, sostenibilidad organizacional, etc.

Es Director del Área de Ingeniería y Arquitectura y Profesor Dr. de Ingeniería de Carreteras en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Alfonso X el Sabio (UAX), asumiendo la dirección y docencia en las asignaturas relativas a ingeniería de carreteras de las carreras de Ingeniería Civil e Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Tutor de Trabajos Fin de Grado y Trabajos Fin de Máster.

Miembro del Comité de Redacción de las Revistas CARRETERAS, ASFALTO Y PAVIMENTACIÓN, y CEMENTO Y HORMIGÓN. Y miembro de los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de AENOR: 159 “Sistemas Inteligentes de Transporte” y 198 “Sostenibilidad en la Construcción”.

También es miembro activo de las siguientes organizaciones profesionales:

- Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP). Miembro de la Junta Rectora y Presidente de la Corte de Arbitraje de la Demarcación de Madrid.
- Asociación Española de la Carretera (AEC). Miembro del Consejo Directivo y Comités Técnicos. Medalla de Honor en el año 2017.
- Asociación Técnica de Carreteras (ATC). Coordinador del GT-8 I+D+i en firmes de carreteras, y miembro de los Comités de Firmes y de Geotecnia Vial.
- Plataforma Tecnológica Española de la Carretera (PTC). Miembro del Consejo Gestor, y de los Foros de Trabajo: Materiales, Medio Ambiente y Carretera Conectada.
- Plataforma Tecnológica Ferroviaria Española (PTFE). Miembro del Área 4 de Plataforma, Superestructura, Vía e Instalaciones.
- Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA). Miembro del Comité Técnico y Grupos de Trabajo 2 Proyecto EMIPAV “Análisis del impacto real de las estrategias de rehabilitación de firmes en el consumo de combustible y en las emisiones generadas por los vehículos que circulan por esas carreteras”, y 4 (Coordinador) “Medio Ambiente y Huella de Carbono”. Ganador del VII Premio MPA, a las Mejores Prácticas Ambientales, del año 2020.

- Asociación Nacional Técnica de Estabilizados de Suelos y Reciclado de Firmes (ANTER). Miembro de la Junta Directiva y asesor técnico.

Entre las numerosas publicaciones en materia de firmes y medio ambiente pueden citarse las siguientes:

- Determinación de la huella de carbono de las mezclas asfálticas y sus técnicas sostenibles. Ángel Sampedro Rodríguez. Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, ISSN 0212-6389, Nº 225, 2019.
- Las consecuencias de la Cumbre de París en la descarbonización de la carretera. Ángel Sampedro Rodríguez. Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, ISSN 0212-6389, Nº 213, 2017, págs. 73-82.
- El análisis del ciclo de vida como herramienta de evaluación ambiental en las secciones de firme. Alberto Moral Quiza, Luis Couceiro Martínez, Ángel Sampedro Rodríguez. Tecnología y desarrollo, ISSN-e 1696-8085, Nº 13, 2015.
- Residuos: el ADN de las nuevas carreteras. Ángel Sampedro Rodríguez. Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, ISSN 0212-6389, Nº 187, 2013 (Ejemplar dedicado a Residuos: el ADN de las nuevas carreteras), pág. 6.
- Empleo de residuos en carreteras: panorámica actual. Ángel Sampedro Rodríguez. Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, ISSN 0212-6389, Nº 187, 2013 (Ejemplar dedicado a: Residuos: el ADN de las nuevas carreteras), págs. 8-17.
- Especial "Carreteras y Cambio Climático". Ángel Sampedro Rodríguez. Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, ISSN 0212-6389, Nº 167, 2009, págs. 6-7.
- El Protocolo de Kioto en la ingeniería de carreteras. Ángel Sampedro Rodríguez. Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, ISSN 0212-6389, Nº 167, 2009, págs. 8-23.
- Reducción de las emisiones contaminantes del transporte por carretera a través de un diseño y explotación eficiente. Ángel Sampedro Rodríguez, Enrique

Miralles Olivar, Elena de la Peña González, Elena del Real Suárez, Nerea Aizpurua Giraldez. Estudios de construcción y transportes, ISSN 1576-7108, Nº 111, 2009, págs. 75-90.

- Reutilización de materiales y el protocolo de Kioto en la construcción de carreteras. Ángel Sampedro Rodríguez. Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, ISSN 0212-6389, Nº 150, 2006 (Ejemplar dedicado a Integración ambiental), págs. 168-189.
- Reducción de las emisiones contaminantes del transporte por carretera a través de un diseño y explotación eficiente. Ángel Sampedro Rodríguez, Elena de la Peña González, Enrique Miralles Olivar. Un nuevo modelo para una nueva época, 2011, ISBN 978-84-380-0448-7, pág. 21.
- Diseño y ejecución de capas de suelocemento con RCDs. Ángel Sampedro Rodríguez, Javier Pablo Ainchil Lavín, Enric Vázquez i Ramonich, José M^a Navarro Vaquerizo, José Manuel Cadenas Armentia, Christian Cortés de la Fuente, Carolina Ríos Losada. VIII Congreso Nacional de Firms: Valladolid del 21 al 23 de octubre de 2008 / coord. por Javier Sasiambarrena San Gil, Vol. 1, 2008, ISBN 978-84-89875-79-1, págs. 53-71.
- Diseño y ejecución de las estabilizaciones con cal. Ángel Sampedro Rodríguez. VIII Congreso Nacional de Firms: Valladolid del 21 al 23 de octubre de 2008 / coord. por Javier Sasiambarrena San Gil, Vol. 1, 2008, ISBN 978-84-89875-79-1, págs. 87-104.
- Tratamientos y estabilizaciones de suelos: estado del arte. Ángel Sampedro Rodríguez, Miguel López-Bachiller Fernández, Diego Parejo Vadillo, José Luis Armayor Cachero. VIII Congreso Nacional de Firms: Valladolid del 21 al 23 de octubre de 2008 / coord. por Javier Sasiambarrena San Gil, Vol. 1, 2008, ISBN 978-84-89875-79-1, págs. 105-119.
- La adecuada elección del conglomerante en la estabilización de suelos. Jesús Díaz Minguela, Ángel Sampedro Rodríguez. VIII Congreso Nacional de Firms: Valladolid del 21 al 23 de octubre de 2008 / coord. por Javier Sasiambarrena San Gil, Vol. 1, 2008, ISBN 978-84-89875-79-1, págs. 161-170.

- Mejores técnicas disponibles (MTD) en la construcción de firmes de carreteras. Ángel Sampedro Rodríguez, Jorge Ortiz Ripoll. VIII Congreso Nacional de Firmes: Valladolid del 21 al 23 de octubre de 2008 / coord. por Javier Sasiambarrena San Gil, Vol. 1, 2008, ISBN 978-84-89875-79-1, págs. 391-402.
- Métodos de evaluación de la contribución a la sostenibilidad del empleo de residuos y materiales subóptimos en firmes de carreteras. Javier Pablo Ainchil Lavín, Antonio Burgueño Muñoz, Ángel Sampedro Rodríguez. VIII Congreso Nacional de Firmes: Valladolid del 21 al 23 de octubre de 2008 / coord. por Javier Sasiambarrena San Gil, Vol. 2, 2008, ISBN 978-84-89875-80-7, págs. 1.505-1.520.
- Afecciones medioambientales en las obras lineales. Ángel Sampedro Rodríguez. Técnicas, tendencias y aspectos de actualidad en medio ambiente / coord. por Benito Hernández Bermejo, Regino Criado Herrero, 2005, ISBN 84-9772-697-9, págs. 151-159.
- Algunas notas sobre el Protocolo de Kioto. Ángel Sampedro Rodríguez. Técnicas, tendencias y aspectos de actualidad en medio ambiente / coord. por Benito Hernández Bermejo, Regino Criado Herrero, 2005, ISBN 84-9772-697-9, págs. 161-171.
- Tesis doctoral: “Análisis de ciclo de vida de empleo de altas tasas de reciclado en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente”. Ángel Sampedro Rodríguez. Tesis doctoral dirigida por José Domínguez de Posada Rodríguez. Universidad Alfonso X el Sabio (2017).

El autor manifiesta haber trabajado de **forma neutral**, redactando el presente informe de forma objetiva y teniendo en consideración todos los elementos que influyen en el objeto estudiado, tanto los que puedan favorecer como perjudicar a los resultados de esta evaluación de la sostenibilidad ambiental de las distintas técnicas de mezclas asfálticas sostenibles consideradas.

Por parte del autor se garantiza la absoluta **confidencialidad** respecto a la documentación e información manejada durante todo el procedimiento, así como sobre los resultados y conclusiones de este informe.

El contenido de este informe es de **uso exclusivo** para los fines propios del encargo realizado por el Consell de Mallorca. Su contenido se considera confidencial y no está permitida su reproducción o distribución, total o parcial, sin la autorización expresa del autor.

Por último, cabe citar que en el tratamiento de los datos se ha tenido en cuenta lo establecido en la **Ley Orgánica de Protección de Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales** vigente, evitando en la medida de lo posible la citación expresa de personas, organizaciones, marcas y datos personales concretos.

3. DOCUMENTACIÓN ANALIZADA

Para la confección de este informe el autor ha dispuesto y analizado la siguiente documentación y referencias normativas:

- I. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y Suelos Contaminados. BOE nº 181 de 29 de julio de 2011.
Actualmente se encuentra en la Cortes un proyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados, sometido al debate de los grupos parlamentarios.
- II. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022 (PEMAR). 6 de noviembre de 2015.
- III. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). Estrategia Española de Economía Circular – ESPAÑA CIRCULAR 2030.
- IV. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). I Plan de Acción de Economía Circular 2021-2023.
- V. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3).
- VI. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras (PG-4).
- VII. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Norma 6.1-IC. Secciones de firme (Orden FOM 3460/2003).
- VIII. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Norma 6.3-IC. Rehabilitación de firmes (Orden FOM 3459/2003).
- IX. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Orden Circular 21/2007 sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU).

- X. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Orden Circular 29bis/2009 sobre betunes mejorados y betunes modificados de alta viscosidad con caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) y criterios a tener en cuenta para su fabricación y almacenamiento in situ y almacenamiento en obra.
- XI. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Orden FOM/2523/2014, de 12 de diciembre, por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a materiales básicos, a firmes y pavimentos, y a señalización, balizamiento y sistemas de contención de vehículos. Artículo 540 Microaglomerados en frío.
- XII. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Orden Circular OC 40/2017 sobre Reciclado de firmes y pavimentos bituminosos.
- XIII. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Orden Circular OC 3/2019 sobre mezclas bituminosas tipo SMA.
- XIV. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Nota Técnica NT 02/2020: Sustitución de un betún mejorado con caucho (BC) por la combinación de un betún de penetración y un aditivo de caucho en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente.
- XV. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Nota Técnica 03/2020 sobre el empleo de árido siderúrgico en firmes y pavimentos.
- XVI. Sampedro, A. (2017). “Análisis de ciclo de vida de empleo de altas tasas de reciclado en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente”. Tesis doctoral. Universidad Alfonso X el Sabio, febrero de 2017.
- XVII. Centro de estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Análisis ambiental y de costes en el ciclo de vida de firmes y pavimentos. Madrid, 2018.
- XVIII. Consell de Mallorca. Direcció Insular d’Infraestructures. Instrucciones generales para la elaboración de proyectos y ejecución de unidades de obras sostenibles. Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares *MEZCLAS ASFÁLTICAS SOSTENIBLES*. V 1.1, de noviembre de 2020.

- XIX. Consell de Mallorca. Direcció Insular d'Infraestructures. Instrucciones generales para la elaboración de proyectos y ejecución de unidades de obras más sostenibles. Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares *MEZCLAS ASFÁLTICAS MÁS SOSTENIBLES*. Borrador, de octubre de 2021.

Así mismo, el autor que redacta este informe se basa en sus conocimientos y estudios sobre los temas tratados, en la práctica profesional y en los trabajos de otros autores cuyos resultados han sido sancionados por la práctica y aceptados por la comunidad técnica.

4. ÁMBITO DEL ESTUDIO

4.1. *Mezclas asfálticas sostenibles*

En la normativa técnica denominada “Instrucciones generales para la elaboración de proyectos y ejecución de unidades de obras sostenibles – Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares *MEZCLAS ASFÁLTICAS SOSTENIBLES*”, redactada por el Consell de Mallorca con fecha de noviembre de 2020, se definen una serie de técnicas que son consideradas dentro de las mezclas bituminosas más sostenibles que las convencionales, y estas son las siguientes:

- Incorporación de NFVU (Neumáticos al Final de su Vida Útil) a las mezclas bituminosas.
- Incorporación de material fresado y preparado de mezclas bituminosas (RA).
- Procedimientos para rebajar las temperaturas de trabajo de las mezclas bituminosas.

Fuera de ellas también se prescriben otras técnicas, contempladas de forma conjunta con las técnicas anteriores (NFVU y RA), que son las siguientes:

- Mezclas bituminosas tipo SMA.
- Mezclas bituminosas tipo AC.

No se entiende este último aspecto, el de separarlas de las anteriores, pues cualquier tipo de mezcla bituminosa puede mejorar su sostenibilidad en base a la incorporación de cualquiera de las técnicas definidas como sostenibles, de forma única o combinando varias de ellas.

Así, por ejemplo, una mezcla tipo AC, que son las más usadas en la actualidad, tanto en el ámbito del Consell de Mallorca como en todo el territorio nacional, podría ser

más sostenible según se vayan reduciendo la temperatura de fabricación, incorporando distintos porcentajes de RA, etc.

Dentro del estado actual de las técnicas de fabricación de mezclas bituminosas o asfálticas existen variaciones que pudieran suponer, en igualdad de condiciones (funcionales y estructurales), una mejora de la sostenibilidad ambiental sobre lo que se podrían considerar las técnicas convencionales, que serían las mezclas bituminosas en caliente, siempre y cuando estas mezclas bituminosas que aporten una mayor sostenibilidad estén contempladas, de alguna forma, en la normativa vigente y haya experiencias suficientes que permitan demostrar su viabilidad técnica.

Y así, para poder realizar el presente análisis, la viabilidad de su empleo y la constatación de su mayor sostenibilidad parten del hecho de que puedan ser consideradas dentro de las **Mejores Técnicas Disponibles (MTD)** en el sector de la pavimentación asfáltica.

Con esto no se pretende *demonizar* a las mezclas bituminosas en caliente, que constituyen unos materiales adecuados y necesarios para la pavimentación de carreteras y otras infraestructuras, garantizando toda una serie de prestaciones funcionales, de comodidad y de seguridad para los vehículos que circulan por ellas. Sólo se pretende usar su referencia a modo de patrón básico frente a potenciales mejoras ambientales.

Tampoco son las técnicas de fabricación de mezclas bituminosas analizadas las únicas que pueden ser consideradas como más sostenibles. Este es un sector muy innovador que, desde siempre, viene desarrollando nuevos tipos de mezclas y variaciones sobre las existentes, cada vez más sostenibles, y con mayores y mejores prestaciones funcionales, desde el punto de vista de la comodidad, seguridad y exigencias de la sociedad.

Se definen como mezclas bituminosas a los materiales resultantes de la combinación de un betún asfáltico o emulsión bituminosa, áridos con una determinada granulometría, polvo mineral (denominado filler por la normativa vigente hasta el año 2014 en España, y aún denominado así en el ámbito latinoamericano) y,

eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea de ligante.

Estas unidades de obra tienen una gran aplicabilidad en carreteras, como capas de firmes y pavimentos, y en muchos otros tipos de obra civil: pavimentación de vías urbanas, vías ciclistas, sendas peatonales y aceras, pistas de vuelo y otras calles en aeropuertos, subbalasto bituminoso en plataformas ferroviarias, etc.

Según la composición y espesores de colocación estas mezclas se dividen en varios tipos que están definidos y normalizados a nivel europeo. En España se utilizan los tratamientos superficiales (TS), microaglomerados en frío (MICROF), mezclas tipo hormigón bituminoso a *asphalt concrete* (AC), mezclas drenantes o *porous asphalt* (PA), y mezclas bituminosas para capas delgadas o *asphalt concrete for very thin layers* (BBTM).

Recientemente se están empezando a aplicar otros tipos de mezclas, muy usadas en el resto de Europa, como son las denominadas *soft asphalt* (SA), *hot rolled asphalt* (HRA), *stone mastic asphalt* (SMA), *mastic asphalt* (MA), *doublé layered porous asphalt* (2L PA) y *asphalt for ultra-thin layer* (AUTL).

Algunas de ellas ya están recogidas en la normativa vigente, como es el caso de las **mezclas bituminosas en caliente tipo SMA** (stone mastic asphalt), que se caracterizan por poseer una gran cantidad de árido grueso, una elevada proporción de ligante y de polvo mineral, una baja cantidad de árido de tamaño intermedio (entre 2 y 4 mm) y una pequeña cantidad de aditivo estabilizante.

También se están aplicando ya las denominadas **mezclas bituminosas ultrafinas o ultradelgadas (AUTL)**, para extender en espesores reducidos, entre 1 y 2 cm.

En ambos casos hay distintas tecnologías disponibles, basadas en el empleo de diversos aditivos, estando pendiente la realización de estudios detallados que analicen el balance ambiental que suponen.

Por otro lado, en función de la temperatura necesaria para su fabricación y puesta en obra, las mezclas bituminosas estas se clasifican en mezclas en caliente o calientes (MBC), semicalientes (MBS), templadas (MBT) y en frío (MBF).

- Las **mezclas en caliente (MBC)** o *hot mix asphalt (HMA)* son aquellas cuya temperatura de fabricación se fija en torno a 165°C, siempre por encima de 150°C.
- Las **mezclas semicalientes (MBS)** o *warm mix asphalt (WMA)* son en las que, mediante el empleo de betunes especiales, aditivos u otros procedimientos, se logra disminuir la temperatura mínima de mezclado en torno a 25-30°C respecto a la mezcla equivalente, de tal forma que sus temperaturas de fabricación se sitúan entre 100 y 150°C.
- Las **mezclas templadas (MBT)** o *half-warm mix asphalt (WMA)* son aquellas fabricadas a temperaturas aún menores, entre 50 y 100°C. Este tipo de mezclas puede fabricarse a partir de betunes asfálticos aditivados o espumados, o empleando como ligante emulsiones bituminosas, siendo estas las dispersiones de pequeñas partículas de un ligante hidrocarbonado (betún) y eventualmente un polímero, en una solución de agua y un agente emulsionante.
- Frente a ellas, también están las **mezclas bituminosas en frío (MBF)** o *cold mix asphalt*, que son aquellas en las que no se calientan los componentes, y el proceso de fabricación y puesta en obra tiene lugar a temperatura ambiente, gracias al empleo también de emulsiones bituminosas como ligante y, eventualmente, aditivos.

Cada tipo de mezcla, en función de los componentes y la temperatura de fabricación y puesta en obra, puede llegar a alcanzar unas prestaciones finales variables, especialmente desde el punto de vista de la resistencia, siendo las mezclas en caliente las que de forma general permiten obtener mayores valores de módulo elástico y, conforme baja la temperatura de fabricación y puesta en obra, tiende a bajar el valor de su módulo elástico y, por lo tanto, su rigidez aunque, por otro lado,

en el caso de las mezclas bituminosas templadas, pueden mejorar su resistencia a la fatiga y la tenacidad a temperaturas de servicio, lo cual incide de forma positiva en su comportamiento a largo plazo, como consecuencia de la menor oxidación del ligante.

El desarrollo de betunes modificados, empleo de aditivos, selección de granulometrías adecuadas, y una puesta en obra especialmente controlada, están permitiendo valores de resistencias finales muy elevadas para el caso de las mezclas bituminosas que se fabrican a menores temperaturas que las mezclas en caliente.

No obstante, el autor, al igual que otros, es de la opinión de que no siempre es adecuado prescribir elevadas resistencias para mezclas bituminosas en firmes de carretera, pues, ya sea por los tipos de tráfico, por el comportamiento del cimiento u otras capas del firme, o por otras condiciones de contorno, en algunos casos lo más adecuado es la colocación de mezclas bituminosas que le confieran una cierta flexibilidad al firme, mejorando así el comportamiento de la infraestructura e incrementando su durabilidad.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, en su triple dimensión (social, económica y ambiental), las mezclas bituminosas en caliente implican unos grandes costes debido a los materiales constituyentes y al gasto energético necesario para el calentamiento de los materiales y la mezcla durante el proceso de fabricación. Además, estos costes son variables en el tiempo, dependientes de múltiples factores en los distintos mercados, lo cual puede comprobarse especialmente en las fechas en las que se redacta el presente informe.

Y su sostenibilidad, como la de cualquier otro producto, pasa por garantizar la durabilidad óptima, reduciendo al máximo las afecciones ambientales, entre las que destacan, como ya se ha dicho, el insumo de recursos naturales y los consumos energéticos.

4.2. Mezclas bituminosas analizadas

En el encargo realizado para el presente informe las técnicas de pavimentación consideradas se van a ampliar debido a que, según se ha indicado, actualmente se está trabajando en una nueva versión de las citadas Instrucciones, que contempla más alternativas frente a las soluciones convencionales.

Esta nueva versión, cuyo Borrador ha sido facilitado al autor para su consideración en este informe, se denomina “Instrucciones generales para la elaboración de proyectos y ejecución de unidades de obras sostenibles – Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares *MEZCLAS ASFÁLTICAS MÁS SOSTENIBLES*” (en adelante el Borrador).

Nótese que el título de la nueva versión ha sido modificado, sustituyendo el concepto de “sostenibles” por el de “más sostenibles”, lo cual, en opinión del autor del presente informe, es un gran acierto que concuerda con lo dicho en el anterior apartado y define mejor los objetivos que se pretenden conseguir con su aplicación.

De esta forma, las mezclas bituminosas a las que se hace referencia en esta evaluación de la sostenibilidad pasan a ser las siguientes:

- Mezclas bituminosas con polvo de caucho (NFVU), con porcentajes de caucho mínimo del 6%, y en función del porcentaje de caucho.
- Mezclas bituminosas con incorporación de material fresado de mezcla bituminosa (RA), con porcentajes de material fresado mínimo del 10%.
- Procedimientos para rebajar las temperaturas de trabajo de las mezclas bituminosas:
 - Mezclas semicalientes
 - Mezclas templadas
 - Mezclas en frío
- Mezclas bituminosas ultradelgadas para capas de rodadura (AUTL).
- Mezclas bituminosas tipo SMA.

Se añade, además, a estas técnicas el denominado **Reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas**, pues este se ha incluido en el Borrador, en un apartado 3.5, dentro del capítulo 3 sobre “Mezclas bituminosas con incorporación de material bituminoso reciclado (RAP)”.

Esta técnica, definida en la normativa del MITMA en el artículo 21 de la Orden Circular 40/2017, actualmente en revisión, puede suponer a priori numerosas ventajas desde el punto de vista ambiental, y se cuenta con una experiencia y liderazgo internacional muy consolidados en España.

En la versión vigente de la normativa de referencia esta técnica se había dejado fuera de forma expresa, justificándolo por el hecho de no disponer en Mallorca de los equipos necesarios, lo cual sería trasladable a muchas de las técnicas objeto de este estudio, pues para todas ellas serán necesarias adaptaciones en muchas de las instalaciones y equipos disponibles en la isla, así como la incorporación de un conocimiento que actualmente no existe en el ámbito profesional de la normativa estudiada, y en base a técnicas que en muchos casos no están en manos de cualquier empresa del sector.

Para el caso del reciclado de firmes in situ hay numerosas experiencias del traslado de los equipos necesarios para la ejecución de obras puntuales en lugares mucho más lejanos que la isla de Mallorca, y es un sector donde hay muchas empresas disponibles en el mercado español con los equipos y conocimiento necesarios.

Aunque en el Borrador ya se ha considerado esta técnica, en opinión del autor no debería estar dentro del capítulo 3, más adecuado para el denominado reciclado en central, y debería considerarse en un capítulo aparte, con unas especificaciones con mayor detalle y concreción, ampliando la técnica al *reciclado in situ con cemento* y a la posibilidad de emplear el denominado como *reciclado in situ mixto*, combinando la emulsión bituminosa con cemento o cal, según sean las características del espesor de firme a reciclar.

Por último, el autor analizará también, siempre desde el punto de vista de la sostenibilidad, el resto de recomendaciones establecidas en el Borrador de la nueva

versión de la normativa técnica analizada, pues muchas veces estas pueden influir en la sostenibilidad final de cualquier proyecto u obra en el que esta sea de aplicación.

Todas las técnicas analizadas están contempladas en la normativa vigente, como ya se viene diciendo, y su uso y prestaciones están sancionados por la práctica, tanto en España como en otros países del mismo entorno tecnológico.

Además, desde el punto de vista de la sostenibilidad, todas estas técnicas implican el uso de productos y equipos que cumplen con la legislación y normativa vigente en materia de seguridad y salud, medio ambiente, etc., no presentando riesgos de *ecotoxicidad*, lo cual permite su prescripción y empleo con total garantía, siempre y cuando se cumpla con todos los requisitos establecidos por dicha legislación y normativa.

4.3. Red de carreteras del Consell de Mallorca

El Consell de Mallorca es la Administración Pública encargada de planificar y ejecutar los proyectos y obras de construcción, ampliación y mantenimiento de las carreteras y los caminos públicos en la Isla de Mallorca, además de administrar y gestionar los que son de titularidad de la institución insular.

El objetivo, como es habitual, es que los ciudadanos puedan disponer de unas infraestructuras adecuadas a la normativa vigente. El Consell trabaja para crear una red viaria de calidad, haciendo mención a la conservación y a la mejora de la seguridad.

Esta gestión se realiza bajo el paraguas de la actualmente vigente Ley 5/1990, de 24 de mayo, de Carreteras de la Comunidad Autónoma de las Islas Baleares, como parte del desarrollo del proceso de transferencias de competencias en materia de carreteras del Estado a las Comunidades Autónomas, que abarca las redes dependientes del Gobierno Balear, de los Consejos Insulares y de los Ayuntamientos, teniendo en cuenta la competencia exclusiva de la Comunidad en materia contenida en el apartado 5 del artículo 10 del Estatuto de Autonomía.

Desde un punto de vista, la Isla de Mallorca está vertebrada por una red formada por un total de 227 carreteras, las cuales suman 1.720,60 km. Por tipologías, la mayoría de las carreteras que forman parte de esta red en la isla son carreteras convencionales (223), que suman una longitud total de 1.626,00 km, que suponen un 94,5% de la longitud de la red. Y el resto lo constituyen 4 vías de alta capacidad, que pueden ser clasificadas como autopistas o autovías, que suponen una longitud total de 94,6 km, suponiendo las grandes arterias de comunicación y transporte en la isla.



Ilustración 2: Mapa de carreteras de Mallorca.

Una de las funciones de la institución insular es la de la conservación y mantenimiento de la red de carreteras, para cuya mejor gestión se dividen las áreas de actuación en la isla en cuatro áreas temáticas: la conservación de la obra civil de la red primaria, secundaria y de alta capacidad; la conservación del alumbrado público; la conservación de las instalaciones electrónicas vinculadas a los túneles de Sóller, Sa Mola y Son Vic, ITS y la red semafórica; y, por último, la conservación de la señalización horizontal.

5. EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

En el presente capítulo se pasa a realizar la evaluación de la sostenibilidad, centrada en la parte ambiental, de las distintas técnicas de mezclas asfálticas sostenibles ya citadas en el capítulo anterior, y siempre teniendo en cuenta su disponibilidad y aplicación en el ámbito de la red de carreteras del Consell de Mallorca.

Como ya se ha citado, en esta evaluación se parte de la premisa, ratificada por el autor, de que todas las técnicas analizadas están contempladas, en mayor o menor medida, por la normativa vigente, y su uso y prestaciones están sancionados por la práctica, tanto en España como en otros países del mismo entorno tecnológico, con resultados positivos, aunque alguna de ellas todavía tienen aspectos por desarrollar, lo cual también será tenido en cuenta en el análisis realizado.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, como es preceptivo, todas estas técnicas implican el uso de productos y equipos que cumplen con la legislación y normativa vigente tanto en materia de seguridad y salud como en los aspectos relativos a la legislación medioambiental, no presentando riesgos de *ecotoxicidad*, lo cual permite el planteamiento y análisis de sus posibles aplicaciones en las fases de proyecto, construcción, conservación y rehabilitación de firmes en las carreteras de Mallorca, tanto urbanas como interurbanas, siempre y cuando se cumpla con todos los requisitos establecidos por dicha legislación y normativa.

Aunque para una evaluación ambiental habría que realizar un estudio más detallado y concreto para cada proyecto u obra, considerando todos los factores que entrarían en juego en cada caso concreto (ubicación y transportes, disponibilidad de materiales, mediciones, etc.), y realizando un cálculo comparado de las afecciones ambientales generadas por cada una de las soluciones posibles evaluadas, el autor pasa a realizar una evaluación previa de forma sencilla, que pretende suponer una primera aproximación de la sostenibilidad ambiental comparada que pueden llegar a suponer cada una de las técnicas de mezclas bituminosas establecidas.

5.1. Criterios y parámetros ambientales considerados

Como ya se ha citado anteriormente, en esta evaluación de la sostenibilidad el autor se centra en los aspectos ambientales que vienen impuestos por las grandes estrategias que deben regir cualquier actividad durante la primera mitad del siglo XXI, que son la Descarbonización, caminando hacia la Neutralidad Climática en 2050, la Economía Circular y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), establecidos en la Agenda 2030.

Mientras que los últimos, los ODS, son más difíciles de cuantificar y evaluar de forma comparada para este caso, los dos primeros criterios serán más fáciles de plantear, basándose en el análisis de la **huella de carbono** y la **gestión de los residuos**.

También, dentro de las políticas marcadas frente al Cambio Climático, otro de los factores ambientales que deben ser considerados es la **resiliencia** o capacidad de adaptación frente a los cambios climáticos posibles, para lo cual ya hay cierto nivel de conocimiento en el campo de las mezclas bituminosas.

Además de estos criterios hay otros parámetros ambientales que también deben ser tenidos en cuenta, como es el caso del **ruido**, que supone uno de los mayores problemas ambientales, tanto sobre el hombre como sobre la fauna, especialmente en entornos urbanos y en aquellos con algún grado de protección ambiental.

De esta forma, en esta evaluación se tiene en cuenta, de forma positiva, la capacidad fonoabsorbente de determinadas mezclas bituminosas, lo cual ya está comprobado y demostrado. Así, por ejemplo, el Ayuntamiento de Valencia ya introdujo en el año 2007, en su Catálogo de Firmes y Pavimentos, las mezclas bituminosas fonoabsorbentes (FA), y en la página web de ASEFMA (www.asefma.es) pueden encontrarse varias ponencias sobre este tema.

Por último, en este análisis se evaluará el grado de **disponibilidad** de las distintas técnicas, considerando la condición de insularidad de la Isla de Mallorca y dando prioridad a los materiales locales disponibles, incluyendo los residuos, desechos y subproductos, así como teniendo en cuenta las características particulares de

mercado existentes, y realizando propuestas de innovación, factor esencial y crítico si se quiere caminar realmente en favor de la sostenibilidad.

Cuando se habla de aspectos ambientales deben tenerse en cuenta la disponibilidad local de los materiales, las técnicas y los equipos necesarios, así como el ámbito de legislación medioambiental fundamental, que en España corre a cargo de las Comunidades Autónomas.

Esta sostenibilidad implica también la consideración y cumplimiento de los denominados *Criterios ESG (Environmental, Social and Governance)*, que se refieren a los factores ambientales, sociales y de gobierno corporativo que deben tenerse en cuenta en cualquier organización.

Aunque la consideración de los aspectos ambientales no es algo nuevo en la ingeniería de carreteras, sino todo lo contrario, es verdad que durante los últimos años se vienen imponiendo una serie de metodologías novedosas, basadas en el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y del Coste de Ciclo de Vida (CCV), pero que todavía están por desarrollarse en el caso de materiales para firmes y pavimentos, dentro del cual se encuentran las mezclas bituminosas o asfálticas.

Un **Análisis del Ciclo de Vida o ACV** (Life Cycle Assessment – LCA), también conocido como *análisis de la cuna a la tumba*, balance ambiental o evaluación del ciclo de vida (ECV), es una herramienta de diseño que investiga y evalúa los impactos ambientales de un producto o servicio durante todas las etapas de su existencia: extracción, producción, distribución, uso y fin de vida (reutilización, reciclaje, valorización y eliminación/disposición de los residuos y desechos).

El ACV es por tanto una metodología empleada en el estudio del ciclo de vida de un producto y de su proceso de producción, con el fin de evaluar el impacto potencial sobre el ambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida mediante la cuantificación del uso de recursos ("entradas o inputs" como energía, materias primas y agua) y emisiones ambientales ("salidas u outputs" al aire, agua y suelo) asociados con el sistema que se está evaluando.

Con el auge del *ecodiseño* este enfoque ha ido integrando con más frecuencia diferentes criterios y parámetros de evaluación del impacto ambiental. *Ecodiseñar* es identificar, en el momento mismo en que se proyecta un producto o servicio, todos los impactos ambientales que se pueden producir en cada una de las fases de su ciclo de vida, con el fin de intentar reducirlos al mínimo, sin menoscabo de su calidad y prestación del servicio.

Esto es, precisamente, lo que se persigue con la normativa técnica objeto de estudio en el presente informe.

Las metodologías de ACV han experimentado una gran aceptación y desarrollo durante los últimos años, pudiéndose aplicar a cualquier tipo de producto o servicio. Sin embargo, en el momento actual el estado de la técnica indica que los ACV presentan una serie de **incertidumbres y riesgos** aún pendientes de resolver:

- Existen numerosas metodologías susceptibles de aplicar a cada caso, lo cual lleva a resultados, en muchas ocasiones, dispares y heterogéneos.
- Generalmente se aplican de forma parcial lo cual, en opinión del autor, impide obtener conclusiones sólidas.
- Los datos de consumos energéticos y de emisiones, fundamentales en el proceso y resultados, se obtienen, en la mayoría de los casos, de bases de datos o estimaciones difíciles de comprobar.
- En general, a pesar de existir normas internacionales sobre los ACV, su aplicación es muy heterogénea, incluso, dentro de cada sector, producto o servicio.
- Los ACV se expresan, cuantificados, según distintos tipos de ecoindicadores, con lo cual los resultados varían mucho de unos casos a otros.
- Incluso, para el cálculo de la huella de carbono, existen distintas normativas y metodologías que llevan a resultados dispares, para un mismo producto o servicio. El autor ha analizado diversos estudios sobre HCP de mezclas asfálticas, realizados en España, Francia y China, y los resultados obtenidos difieren, entre ellos, en algunos casos en más del doble.

- Por último, el concepto de economía circular ha venido a añadir más incertidumbres, pues ahora los ACV deben ser en realidad un “*análisis de la cuna a la cuna*”, lo cual implica una mayor complejidad, debiendo considerar como parámetros básicos para cualquier evaluación ambiental *la durabilidad y reciclabilidad* de las posibles soluciones.

Dentro del ámbito de los materiales y técnicas objeto de este análisis, son numerosos los estudios, referencias y resultados encontrados por el autor que suponen ejemplos de todas las incertidumbres mencionadas.

Por todo ello se ha considerado necesario desarrollar una metodología simple y específica para el caso y objetivos de los que se ocupa la presente evaluación ambiental, debidamente justificada, con el objeto de garantizar la fiabilidad tanto de los datos empleados como de los resultados obtenidos y poder obtener así unas conclusiones ajustadas, basadas en datos reales y en una aplicación razonada y debidamente justificada.

Uno de los principales parámetros ambientales a considerar será la **huella de carbono (HC)**, que mide la totalidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento, sistema o producto, y se calcula realizando un inventario de emisiones de esos gases, expresadas en kilogramos o toneladas de CO₂ equivalente (kg o t CO₂e), con base en un análisis del ciclo de vida, utilizando una sola categoría de impacto, la de cambio climático.

En realidad, la HC es una versión simplificada de un Análisis del Ciclo de Vida en el que, en lugar de considerar varias categorías de impacto ambiental al mismo tiempo, se considera únicamente una de ellas, la relativa al cambio climático.

Para el cálculo de la huella de carbono de productos, como es el caso de esta evaluación, hay diversas normas y referencias, siendo la más adecuada la Norma ISO 14067 para el cálculo de la Huella de Carbono en productos, siguiendo las directrices

del *GHG Protocol*, y siempre realizada con una perspectiva del ciclo de vida completo, a modo de ACV, de la cuna a la cuna, considerando también los principios marcados por la economía circular.

5.2. Metodología de la evaluación ambiental

Partiendo de los criterios y parámetros ambientales anteriores, el autor va a realizar una evaluación ambiental mediante un **análisis multicriterio**, en el cual se van a ir tomando en consideración una serie de factores que, siendo representativos de dichos criterios, puedan ser evaluados de forma sencilla, y debidamente ponderados para ser incorporados en una suma total que permita partir de unos criterios básicos a la hora de considerar sus posibilidades de aplicación.

Van a considerarse cuatro **factores ambientales (FAi)**, sobre cada uno de los cuales se asignará una puntuación de 0 a 100, específica de cada factor. Aunque en algunos casos no será posible llegar a obtener el valor de 100 puntos, el autor considera que es más interesante manejar el mismo rango de puntuaciones en todos los factores.

Y el valor de cada factor será corregido (multiplicado) por un **coeficiente de ponderación (CPi)** que considerará el peso relativo que debería tener cada uno de los cuatro factores ambientales, en orden de prioridad, asignando valores de 4 a 1.

El resultado será un **indicador de valoración (IVi)** de cada factor sobre cada una de las técnicas analizadas en la presente evaluación ambiental.

La suma de estos indicadores arroja una primera cuantificación sobre la sostenibilidad ambiental de cada técnica, que finalmente van a ser corregidas, debidamente ponderadas en función del peso porcentual que cada una de ellas puede llegar a suponer sobre el total de la mezcla bituminosa (**%/mezcla**).

Este resultado ya será el finalmente obtenido para la evaluación de su sostenibilidad ambiental, mediante un **valor de la sostenibilidad (VS)** para cada una de las ocho (8) técnicas analizadas.

Los factores ambientales considerados, ateniéndose a los criterios y conceptos ambientales manejados, y en el orden de prioridad considerado por el autor son los siguientes:

1. **Análisis del Ciclo de Vida (ACV)**, que será evaluado mediante la Huella de Carbono (HC), debido al razonamiento ya expuesto.

En este caso, la puntuación (FA1) vendrá dada por el porcentaje de ahorro de HC que puede suponer cada técnica sobre las mezclas convencionales, considerando solo el proceso de fabricación, dentro de los rangos establecidos en la normativa analizada.

Y el factor de ponderación (FP1) reflejará la prioridad de la HC sobre todos los demás, siendo de 4 puntos. Ello es debido a que, desde el Acuerdo de París, y de aquí al año 2050, hay una regulación muy clara para lograr la neutralidad climática.

2. **Economía Circular** para considerar una adecuada gestión de los residuos, tanto de la propia actividad como de otras externas. Este es un factor ambiental muy importante en cualquier ámbito geográfico, pero lo es aún más en el caso de una isla como Mallorca.

La puntuación (FA2) vendrá dada por el puesto que cada técnica tiende a ocupar en la jerarquía europea de la gestión de residuos: prevención (100), reutilización (75), reciclado (50), otras valorizaciones (25) y eliminación (0).

El factor de ponderación (FP2) será el siguiente en orden de prioridad, de 3 puntos.

3. **Durabilidad** esperable de las mezclas asfálticas en base al empleo de las técnicas estudiadas, relacionado directamente con los dos anteriores, pues los incrementos en la durabilidad implican una reducción importante de la huella de carbono y una mejora en la prevención y generación de residuos.

La puntuación (FA3) vendrá dada por el porcentaje de durabilidad estimada que puede suponer cada técnica sobre la durabilidad esperada de las mezclas bituminosas. Y el factor de ponderación (FP3) reflejará el orden de prioridad siguiente que le corresponde, con un valor de 2 puntos.

4. **Otros factores ambientales**, considerados de forma conjunta, como son el ruido, la resiliencia, la reciclabilidad, su disponibilidad en Mallorca y en las Islas Baleares (ámbito local y autonómico).

La puntuación (FA4) vendrá dada por la contribución positiva de cada una de las técnicas a los factores indicados, asignando 20 puntos por cada uno de los cinco citados. El factor de ponderación (FP4) tiene un valor de 1 punto.

Aunque estos factores están íntimamente relacionados, siguiendo los criterios que deben regir cualquier proceso de evaluación ambiental, se procurará evitar lo que se denomina la “doble contabilidad”, no considerando dos veces el mismo impacto.

Así, por ejemplo, una mejora en la durabilidad del firme o la reutilización de materiales implican siempre importantes reducciones de la huella de carbono, especialmente considerando el *análisis de la cuna a la cuna*, pero esto no debe computarse más que una vez, dentro del factor correspondiente.

5.3. Técnicas asfálticas evaluadas

Dado que las denominadas como “mezclas asfálticas sostenibles” no son en realidad distintos tipos de mezclas bituminosas para aplicar en firmes y pavimentos, sino que son una mezcla de tecnologías y tipos de mezclas que pueden aplicarse, en la gran parte de los casos, de forma combinada, el autor considera más exacto hablar de **técnicas asfálticas**, en la medida que son un conjunto de procedimientos que se pueden usar en la pavimentación asfáltica de carreteras urbanas e interurbanas, de forma aislada o combinando varias soluciones, con el objeto de lograr así una mayor

reducción de las afecciones ambientales y, por lo tanto, una mejora más importante desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, objeto del presente informe y de la normativa técnica analizada.

Dentro de las técnicas que se vienen desarrollando en el sector de las mezclas asfálticas durante los últimos años, destacan, precisamente por la mejora de la sostenibilidad que implican en lo dicho, y por lo tanto, podrían considerarse como parte de las mezclas bituminosas más sostenibles, el empleo de distintas tasas de asfalto recuperado, técnica denominada **reciclado en central**, y la reducción de temperaturas de fabricación y puesta en obra, lo que se denominan **mezclas a menor temperatura de fabricación**, ya definidas.

Ambas técnicas son consideradas por el sector como *mejores técnicas disponibles (MTD)*, y así están citadas por la Asociación Europea de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (EAPA) en su documento *Environmental Guidelines on Best Available Techniques (BAT) for the Production of Asphalt Paving Mixes*.

Cuando se habla de la técnica de *reciclado en planta o en central*, se refiere al empleo de distintos porcentajes de material procedente de la retirada de las mezclas bituminosas ya envejecidas, normalmente mediante fresado, denominado por el término RAP, correspondiente a las siglas de su definición anglosajona: *reclaimed asphalt pavement*, para la fabricación de nuevas mezclas bituminosas.

Este material es un residuo catalogado a nivel europeo con el código LER 17 03 02, y también está dentro de lo que son los residuos de construcción y demolición (RCD). Dadas las complicaciones que esto implica en su gestión, el sector de los fabricantes de mezclas asfálticas en España, a través de la asociación ASEFMA, está intentando tramitar su declaración de condición de fin de residuo, para que pase a ser considerado un desecho o subproducto, algo más adecuado a la realidad cuando se considera su reutilización.

En España se suele denominar a este producto obtenido del fresado como asfalto reciclado, y de ahí otros términos que se manejan, como tasas de reciclado, lo cual, en opinión del autor, es incorrecto, pues, en realidad, se trata de un material

recuperado, que debe ser tratado convenientemente para su reutilización en la fabricación de nuevas mezclas asfálticas para la rehabilitación de un firme envejecido, o para la construcción de firmes nuevos.

Por lo tanto, es más adecuado hablar de **asfalto reutilizado o recuperado**, lo cual se aproxima mejor a la traducción del término inglés “*reclaimed asphalt*” (RA). Por otro lado, la norma UNE-EN 13108 lo designa como mezcla bituminosa reciclada (MBR), concepto que no se ajusta bien a la realidad, y debería ser sustituido por el de **mezcla bituminosa reutilizada**.

Como ya se ha explicado, también se considera por separado la técnica del **reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas**, que consiste en la ejecución in situ, sobre el propio firme a rehabilitar, de una mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material resultante del fresado de varias capas de mezcla bituminosa existentes, sobre las que se inyectan o aportan emulsión bituminosa, agua y, eventualmente, aditivos. Siguiendo con el razonamiento anterior, la denominación más adecuada para estas técnicas debería ser **reutilización in situ**.

Aunque sobre estas no hay estudios detallados que hayan realizado una evaluación ambiental basada en el ACV, podría estimarse que su balance sería similar al de las mezclas bituminosas en frío, por su composición y características de ejecución, añadiendo además las ventajas ambientales que implica la reducción al máximo del transporte de materiales necesario.

Por último, otra de las posibles técnicas de mezclas asfálticas más sostenibles pasa por el empleo de **mezclas con polvo de caucho** procedente del tratamiento de neumáticos al final de su vida útil (NFVU), empleado como modificador del betún asfáltico, con un contenido de NFVU entre un 6 y un 15% sobre el ligante.

Estas mezclas tienen un gran interés desde el punto de vista técnico, pues estos aditivos se vienen empleando en la pavimentación de muchas carreteras y vías urbanas, debido a las ventajas que pueden aportar en determinados casos: reducción de ruido, control de la reflexión de grietas de capas inferiores, mejora del comportamiento de determinados tipos de firmes, etc.

Además, el hecho de suponer la valorización de un residuo, procedente de los NFVU, parece suponer, a priori, ciertas ventajas desde el punto de vista ambiental.

Sin embargo, este aspecto no ha sido aceptado, a día de hoy, como MTD por el sector, y las ventajas ambientales que podría llegar a suponer no han sido lo suficientemente estudiadas ni demostradas. No se conoce un estudio de ACV detallado y con la consistencia suficiente como para ser considerado del proceso de recogida y tratamiento de los neumáticos hasta su posterior puesta a disposición del aditivo basado en el polvo de NFVU en la planta de fabricación de mezclas asfálticas.

Aunque es un residuo prioritario dentro de los distintos Planes Estatales de Gestión de Residuos, estando vigente el PEMAR 2016-2022, no deja de proceder de otra actividad que no es la ingeniería de carreteras. Y tampoco hay una Estrategia de Economía Circular de la Comunidad Autónoma de las Islas Baleares donde se establezcan unas prioridades respecto a este residuo.

Además, en el caso de Mallorca este producto no se obtiene en la propia isla, y ni siquiera en la propia Comunidad Autónoma pues no hay instalaciones para ello, ámbito administrativo desde el que deben gestionarse los residuos, con lo que implicaría un transporte adicional cuyos impactos ambientales deberían ser computados.

Todo ello supone que la valorización de NFVU se realizaría mediante un reciclado “externo por partida doble” (actividad y geográfica), lo cual encaja dentro de los principios de la economía circular, pero en una escala muy por debajo de otro de los residuos analizados como es el caso del RAP, que supone una reutilización en la misma actividad y en la misma ubicación, pues en la propia normativa técnica se especifica que deberá ser el procedente de las propias obras de rehabilitación del firme existente.

Por otro lado, desde el punto de vista técnico y normativo, las mejoras obtenidas mediante el empleo de betún mejorado con caucho (BC) también pueden obtenerse con betunes modificados con polímeros (BMP) o con los denominados betunes modificados híbridos (BMH), que combinan la adición de polvo de NFVU y de

polímeros. La ventaja de estos últimos, desde el punto de vista ambiental, es que sí se disponen de estudios contrastados de sus afecciones ambientales, realizados por la Asociación Europea de Fabricantes de Betún (EUROBITUME).

Considerando todos estos aspectos, las mezclas bituminosas sobre las que se va a realizar esta evaluación de la sostenibilidad pasan a ser las siguientes:

- Mezclas bituminosas con polvo de caucho (NFVU), con porcentajes de caucho mínimo del 6%, y en función del porcentaje de caucho.
- Mezclas bituminosas con incorporación de material fresado de mezcla bituminosa (RA), con porcentajes de material fresado mínimo del 10%.
- Reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas.
- Procedimientos para rebajar las temperaturas de trabajo de las mezclas bituminosas:
 - Mezclas semicalientes
 - Mezclas templadas
 - Mezclas en frío
- Mezclas bituminosas ultradelgadas para capas de rodadura.
- Mezclas bituminosas tipo SMA (según OC 3/2019).

5.4. Evaluación ambiental multicriterio

Considerando todo lo analizado con anterioridad, el autor pasa a evaluar los posibles valores que hay que asignarle a cada una de las técnicas de mezclas bituminosas objeto del presente informe:

1. Mezclas bituminosas con polvo de caucho (NFVU), con porcentajes de caucho mínimo del 6%, y en función del porcentaje de caucho:

A priori, aunque se desconocen los datos, se presupone que, en este tipo de mezclas, como en el resto que requiere el empleo de aditivos sobre el betún, estos vienen a suponer en torno a un incremento del 50% en la huella de

carbono del ligante, pero teniendo en cuenta que este incremento, sobre el total de la mezcla bituminosa, debe reducirse en la misma proporción que este supone en la fórmula de trabajo. Así, el FP1 arroja un valor de -2,75.

Respecto a la jerarquía en la gestión de residuos, esta técnica implica un proceso de reciclado externo, como ya se ha dicho.

En cuanto a la durabilidad, estas pueden implicar un incremento en el 30% de la vida útil de la mezcla.

En lo referente a otros factores, la incorporación de NFVU puede aportar mejoras en tres de los cinco aspectos considerados: ruido, resiliencia y reciclabilidad.

2. Mezclas bituminosas con incorporación de material fresado de mezcla bituminosa (RA), con porcentajes de material fresado mínimo del 10%:

Suponiendo la posibilidad de llegar al empleo de altas tasas de reciclado, esta técnica puede suponer unos ahorros en las emisiones de GEI del 15%.

Desde el punto de vista de la economía circular, la reutilización del asfalto recuperado es la opción más clara.

Sin embargo, no aportan valor en el incremento de la vida útil de la mezcla. La OC 40/2019 establece que su equivalencia estructural puede llegar a reducirse en un 10% para el caso de altas tasas, factor que se traslada a la durabilidad.

En lo referente a otros factores, la incorporación de RA puede aportar mejoras en tres de los cinco aspectos considerados: reciclabilidad, disponibilidad insular y autonómica.

3. Reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas:

Asimilando sus procesos con la fabricación de mezclas bituminosas en frío, y añadiendo el ahorro adicional que supone evitando el transporte de

materiales (un 15% adicional), esta técnica puede suponer unos ahorros en las emisiones de GEI del 40%.

Desde el punto de vista de la economía circular, esta técnica, al igual que la anterior, supone la reutilización del firme existente.

Sin embargo, la misma OC 40/2019 establece que su equivalencia estructural puede llegar a reducirse en un 25%, factor que se traslada a la durabilidad.

En lo referente a otros factores, esta técnica solo aporta mejoras en uno de los cinco aspectos considerados: la reciclabilidad.

4. Procedimientos para rebajar las temperaturas de trabajo de las mezclas bituminosas:

- Mezclas semicalientes
- Mezclas templadas
- Mezclas en frío

La reducción de temperaturas, como ya viene estudiando el autor, suponen reducciones de la huella de carbono del 8, 15 y 35% fácilmente.

Estas técnicas no aportan mejoras apreciables, como tales, desde el punto de vista de la economía circular y desde la durabilidad esperada, aunque sí favorecen el empleo de otras como la reutilización de asfalto recuperado, pero ello está considerado en la técnica correspondiente.

Tampoco aportan valor en el incremento de la vida útil de la mezcla, exceptuando las mezclas en frío que, a priori, suelen durar menos debido a sus valores resistentes más bajos. La OC 40/2019 reduce en un 25% la resistencia esperada de un reciclado in situ, y este es el valor que se adopta para la durabilidad.

En lo referente a otros factores, la reducción de temperaturas de fabricación puede aportar mejoras en dos de los cinco aspectos considerados: reciclabilidad y disponibilidad insular.

5. Mezclas bituminosas ultradelgadas para capas de rodadura:

De la misma forma que en el caso del polvo de NFVU, se presupone también que, en este tipo de mezclas, como en el resto que requieren el empleo de aditivos, estos vienen a suponer en torno a un incremento del 50% en la huella de carbono del ligante, pero teniendo en cuenta que este incremento, sobre el total de la mezcla bituminosa, debe reducirse en la misma proporción que este supone en la fórmula de trabajo. Así, el FP1 arroja un valor de -2,5.

En cuanto a la durabilidad, estas pueden implicar un leve incremento en el 15% de la vida útil de la mezcla, no como tales, sino como parte de facilitar una conservación preventiva del firme.

Y respecto a otros factores, las mezclas AUTL aportan mejoras en tres de los cinco aspectos considerados: resiliencia, reciclabilidad y disponibilidad insular.

6. Mezclas bituminosas tipo SMA:

De la misma forma que en los casos anteriores, se vuelve a presuponer que en este tipo de mezclas con aditivos suponen en torno a un incremento del 50% en la huella de carbono del ligante, con lo que el FP1 arroja un valor de -2,5.

En cuanto a la durabilidad, estas pueden implicar también un incremento en el 30% de la vida útil de la mezcla.

Respecto a otros factores, las mezclas SMA aportan mejoras en tres de los cinco aspectos considerados: resiliencia, reciclabilidad y disponibilidad insular.

La suma de estos indicadores de valoración arroja un primer valor sobre la sostenibilidad ambiental de cada técnica, pero que debe ser corregido, como ya se ha expuesto, en función del peso porcentual que cada una de las técnicas puede llegar a suponer sobre el total de la mezcla bituminosa (%/mezcla), obteniendo así para cada una de las ocho técnicas analizadas un valor de la sostenibilidad final (VS) que se muestran en el siguiente apartado.

5.5. Resultados ambientales

Una vez aplicados los valores de los parámetros ambientales anteriores, y considerando los factores de ponderación ya citados, según la preponderancia de cada uno de los factores ambientales considerados, los resultados obtenidos sobre todas las técnicas de mezclas bituminosas analizadas se reflejan en las siguientes tabla y gráfico.

Tabla 1: Evaluación ambiental de las mezclas asfálticas más sostenibles.

TÉCNICAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS	FA1 - ACV	CP1	IV1	
Mezclas bituminosas con polvo de NFVU	-2,75	4,0	-11	
Mezclas bituminosas con incorporación de RA	15	4,0	60	
Reciclado in situ con emulsión bituminosa	40	4,0	160	
Mezclas bituminosas semicalientes	8	4,0	32	
Mezclas bituminosas templadas	15	4,0	60	
Mezclas bituminosas en frío	35	4,0	140	
Mezclas bituminosas ultradelgadas	-2,75	4,0	-11	
Mezclas bituminosas tipo SMA	-2,75	4,0	-11	
TÉCNICAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS	FA2 - Economía Circular	CP2	IV2	
Mezclas bituminosas con polvo de NFVU	50	3,0	150	
Mezclas bituminosas con incorporación de RA	75	3,0	225	
Reciclado in situ con emulsión bituminosa	75	3,0	225	
Mezclas bituminosas semicalientes	0	3,0	0	
Mezclas bituminosas templadas	0	3,0	0	
Mezclas bituminosas en frío	0	3,0	0	
Mezclas bituminosas ultradelgadas	0	3,0	0	
Mezclas bituminosas tipo SMA	0	3,0	0	
TÉCNICAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS	FA3 - Durabilidad	CP3	IV3	
Mezclas bituminosas con polvo de NFVU	30	2,0	60	
Mezclas bituminosas con incorporación de RA	-10	2,0	-20	
Reciclado in situ con emulsión bituminosa	-25	2,0	-50	
Mezclas bituminosas semicalientes	0	2,0	0	
Mezclas bituminosas templadas	0	2,0	0	
Mezclas bituminosas en frío	-25	2,0	-50	
Mezclas bituminosas ultradelgadas	15	2,0	30	
Mezclas bituminosas tipo SMA	30	2,0	60	
TÉCNICAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS	FA4 - Otros factores	CP4	IV4	
Mezclas bituminosas con polvo de NFVU	60	1,0	60	
Mezclas bituminosas con incorporación de RA	60	1,0	60	
Reciclado in situ con emulsión bituminosa	20	1,0	20	
Mezclas bituminosas semicalientes	40	1,0	40	
Mezclas bituminosas templadas	40	1,0	40	
Mezclas bituminosas en frío	40	1,0	40	
Mezclas bituminosas ultradelgadas	60	1,0	60	
Mezclas bituminosas tipo SMA	60	1,0	60	
TÉCNICAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS	IV Total	%/mezcla	VS Final	ORDEN
Mezclas bituminosas con polvo de NFVU	259,00	10,00%	25,90	8
Mezclas bituminosas con incorporación de RA	325,00	50,00%	162,50	2
Reciclado in situ con emulsión bituminosa	355,00	90,00%	319,50	1
Mezclas bituminosas semicalientes	72,00	100,00%	72,00	7
Mezclas bituminosas templadas	100,00	100,00%	100,00	5
Mezclas bituminosas en frío	130,00	100,00%	130,00	3
Mezclas bituminosas ultradelgadas	79,00	100,00%	79,00	6
Mezclas bituminosas tipo SMA	109,00	100,00%	109,00	4

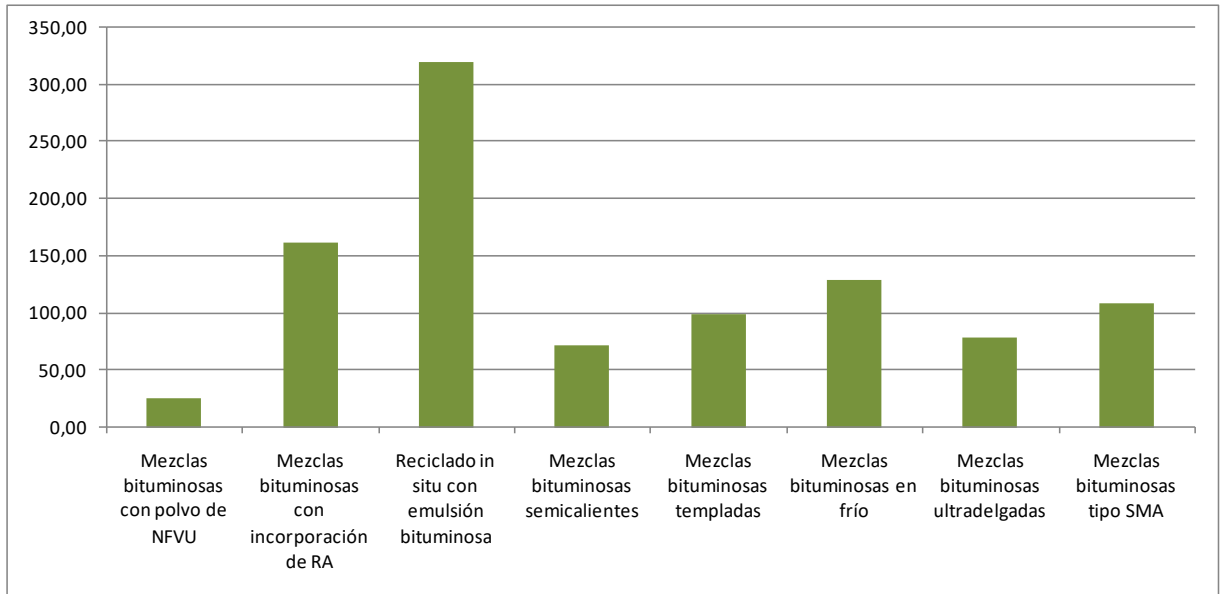


Ilustración 3: Valores de sostenibilidad de las mezclas asfálticas más sostenibles.

6. CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL

Una vez realizada la evaluación ambiental desarrollada en el presente informe se puede concluir, en primer lugar, que todas las técnicas consideradas por parte del Consell de Mallorca para la fabricación y ejecución de mezclas asfálticas más sostenibles, como se esperaba, presentan un balance ambiental positivo.

Dentro de ellas, el reciclado in situ con emulsión bituminosa y la incorporación de asfalto recuperado (RA) se muestran, a priori, como las que presentan mayores ventajas desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, teniendo en cuenta además que implican otra serie de ventajas ambientales y económicas que, aunque consideradas, son dignas de reseñar: evitan o reducen la necesidad, por ejemplo, de traer áridos, especialmente para el caso de las capas de rodadura, desde la Península.

Dada la posición preponderante del reciclado de firmes in situ en esta evaluación, el autor considera necesario que en la nueva versión de la normativa técnica sea considerada en un capítulo aparte, con un mayor detalle en las especificaciones, y con la ampliación a todas las posibilidades de reciclados de firmes, permitiendo el empleo de emulsión, cemento y una combinación de estos, además de otros aditivos y conglomerantes como es el caso de la cal.

Por otro lado, en el caso de la incorporación de asfalto recuperado (RA) parece entenderse, según el Borrador disponible, que debe ser siempre el procedente de la propia obra. Pero esto no debe interpretarse así pues aunque el RAP propio debe ser siempre prioritario en la reutilización, también puede incorporarse material procedente de otras obras, previamente tratado en la planta asfáltica, que puede llegar a ser mejor que el propio en función del firme del que proceda (ej: fresado de pistas de vuelo de AENA).

Por detrás de estas técnicas, el empleo de mezclas bituminosas fabricadas a menores temperaturas, especialmente las mezclas en frío y las templadas, suponen una alternativa claramente sostenible frente a las mezclas bituminosas en caliente.

La introducción en Mallorca de las mezclas SMA y AUTL también va a suponer una apuesta clara por la sostenibilidad ambiental y, además, por la innovación en la pavimentación asfáltica de carreteras.

Aunque la técnica del empleo de polvo de NFVU no presenta, según la evaluación ambiental realizada, las mejores aportaciones desde el punto de vista de la sostenibilidad, no debe olvidarse que en muchos casos puede ser una técnica adecuada para resolver o mejorar determinados aspectos técnicos, y su balance medioambiental final resultaría también positivo.

No obstante, para llegar a un conocimiento y evaluación ambiental real habría que realizar un estudio más detallado para cada proyecto u obra, como los que ha realizado el autor en varias ocasiones, considerando todos los factores que entrarían en juego en cada caso concreto (ubicación, disponibilidad de materiales, transporte, mediciones, etc.), y realizando un cálculo comparado de las afecciones ambientales generadas por cada una de las soluciones posibles evaluadas, preferentemente en la fase de proyecto, incluyendo un seguimiento y comprobación a posteriori.

Esto, además, debería ser reforzado luego, cuando se realice el proceso de licitación de la construcción de la obra correspondiente, realizándolo mediante un sistema de Contratación Pública Ecológica (GPP) que permita valorar adecuadamente las ventajas ambientales que pueda aportar cada uno de los licitadores, para así aprovechar los constantes avances que se están produciendo en el sector de la pavimentación asfáltica, especialmente en lo referente al ecodiseño de firmes y pavimentos.

Este **ecodiseño** pasaría, como ya se ha dicho, por una combinación de varias técnicas de entre las analizadas en función de cada caso, dando lugar a unas mejoras acumuladas desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental que superarían con creces los valores obtenidos en la presente evaluación.

En esta evaluación el autor ha realizado una evaluación sencilla que tan solo supone una primera aproximación de la sostenibilidad ambiental comparada que pueden llegar a suponer cada una de las técnicas de mezclas bituminosas establecidas en el

Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares *MEZCLAS ASFÁLTICAS MÁS SOSTENIBLES* (Borrador).

Por otra parte, en esta última versión, denominada como Borrador, se consideran una serie de recomendaciones finales, en el capítulo 7, entre las cuales se encuentran las *lechadas de cal*.

La sostenibilidad ambiental de esta técnica también debería evaluarse, pues tampoco está disponible en la isla de Mallorca e impondría la necesidad de un transporte que, sumado al empleo de la cal, podría implicar un incremento en la huella de carbono que influiría en su balance ambiental, teniendo en cuenta, además, que la necesidad de estos tratamientos puede ser evitada aplicando las buenas prácticas en la ejecución de mezclas bituminosas.

Por último, el autor recomienda que para futuras modificaciones de la normativa técnica relativa a firmes de carreteras debería realizarse un análisis más amplio de todos los residuos, desechos y subproductos disponibles en las Islas Baleares, evaluando sus posibilidades de aplicación para, posteriormente, plantear su aplicación y evaluación de la sostenibilidad que ello podría implicar en cada caso.

Este informe técnico tiene 44 páginas.

En Madrid, octubre de 2021



Fdo.: Ángel Sampedro Rodríguez

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Prof. Dr. Ingeniería de Carreteras en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Alfonso X el Sabio (UAX)