



## ORDEN CIRCULAR OC 3/2024

SOBRE CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO (ETAPAS DE A1 A A5)  
DE LA CONSTRUCCIÓN O REHABILITACIÓN DE FIRMES

En los últimos años se ha ido constituyendo un marco estratégico, tanto internacional como nacional, de energía y clima que sienta las bases del camino compartido hacia la descarbonización, al cual han de involucrarse las administraciones públicas y la sociedad civil.

La Dirección General de Carreteras se ha sumado a ello por lo que actualmente está desarrollando un Plan de Descarbonización con hito temporal 2030. Además, y por primera vez, en 2022 llevó a cabo el estudio de su huella de carbono, calculando las emisiones en 2021 de los denominados alcance 1 y alcance 2, así como de una parte del alcance 3, relacionada con la actividad de conservación para lo que se estimaron, también por primera vez, las emisiones procedentes de la actividad ordinaria en los Sectores de Conservación y Explotación de la red.

Por lo anterior, además de seguir calculando en sucesivos años las mencionadas emisiones es importante que la Dirección General de Carreteras centre ahora nuevos esfuerzos en el cálculo de la Huella de Carbono relacionada con la construcción, entendida en sentido amplio, tanto de nueva construcción como de acondicionamiento, mejora o rehabilitación, que representa la segunda parte significativa del alcance 3.

Un nuevo paso en esa dirección lo constituye la presente Orden Circular cuyo objeto está incardinado, como se verá, en impulsar la descarbonización en la construcción y rehabilitación de los firmes de carreteras y sus pavimentos.

Por el momento, el estudio únicamente se limita a las denominadas “etapa de producto” y “etapa de proceso de construcción” consistentes en las dos primeras del ciclo de vida de un producto de construcción, según se recoge en la UNE-EN 15804:2012+A2 “Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones Ambientales de Producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción” en la que se distinguen:

- **Etapa de producto:** que comprende los módulos A1 a A3 consistentes en el suministro de materias primas, transporte de materias primas, y fabricación del producto.
- **Etapa de proceso de construcción:** que comprende los módulos A4 a A5 consistentes en el transporte y la construcción en sí.
- **Y otras tres etapas denominadas sucesivamente:** de uso (módulos B1 a B7), en la que estarían incluidos las actuaciones de mantenimiento, de fin de vida (módulos C1 a C4), y finalmente la etapa D de “beneficios y cargas más allá del sistema” y su potencial de reciclaje o reutilización. Dado el actual estado de la normativa, no se han considerado en esta Orden Circular estas tres últimas etapas, lo cual debe quedar para futuros avances, estudios y consensos técnicos en los



cuales deberá establecerse la durabilidad previsible de las distintas soluciones y los eventuales escenarios de conservación de cada una de ellas. En este sentido, destacamos que se está trabajando en la actualización de la 6.1 IC en la cual se incluirán escenarios de conservación de firmes.

### Marco general del proceso de descarbonización

Con el fin de poner esta compleja cuestión en su contexto, se indican a continuación los principales antecedentes y elementos que constituyen el marco estratégico de energía y clima de la Unión Europea y de España y que evidencian la necesidad de comenzar de manera decidida a profundizar en el conocimiento, cálculo y aplicación de la huella de carbono de los materiales y soluciones que normalmente se emplean en la carretera:

- El Acuerdo de París de 2015 adoptado por la 21ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y ratificado por España, reconoce *“la necesidad de una respuesta progresiva y eficaz a la amenaza apremiante del cambio climático, sobre la base de los mejores conocimientos científicos disponibles”*, tiene presente la importancia del compromiso de todos los niveles de gobierno y de los diversos actores y, entre otras medidas, prevé un marco mejorado de transparencia para la acción y el apoyo en el que todas las Partes, al comunicar sus contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC por sus siglas en inglés) *“deberán proporcionar la información necesaria a los fines de la claridad, la transparencia y la comprensión”*. Las conclusiones actualizadas y sistematizadas de la comunidad científica fueron recogidas en 2019 en el informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).
- El Parlamento Europeo y el Consejo, mediante su Reglamento 2018/1999 de 11 de diciembre de 2018 *sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima*, crearon las dos figuras fundamentales para determinar el marco de actuación en materia de acción: la Estrategia de Descarbonización a 2050 y los Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima (PNIEC) para el logro de objetivos para el 2030 y el largo plazo.
- En 2019 la Comisión de la UE puso en marcha el Pacto Verde Europeo (*“The European Green Deal”*), consistente en un paquete de iniciativas políticas destinadas a situar a la UE en el camino hacia una transición ecológica, con el objetivo último de que la UE, en el año 2050, ya sea neutra en términos climáticos (*Net Zero*), es decir, que tenga una economía con cero emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI). Mediante dicho Pacto se establece un proceso de transparencia y de rendición de cuentas en línea con los ciclos de revisión del Acuerdo de París, y se sientan las bases para que los países presenten planes más ambiciosos de lucha contra el cambio climático, a la vista de que los esfuerzos de los gobiernos y de la sociedad en su conjunto deben incluir a más sectores y actores. También hay que señalar que en marzo de 2020 la Comisión presentó un nuevo Plan de Acción para la Economía Circular en el que, entre otros sectores, se incluye al de construcción, y que en diciembre de 2020 el Consejo adoptó conclusiones al respecto.
- Por lo anterior, y en respuesta a los compromisos de España como Estado miembro de la UE y con el Acuerdo de París, en noviembre de 2020 fue aprobada la *“Estrategia a largo plazo para una economía española moderna, competitiva y climáticamente neutra en 2050”* (ELP 2050), elaborada de acuerdo con las directrices del mencionado Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo, coherente con los objetivos de descarbonización de la





economía para el año 2050 y con las actuaciones previstas a 2030, y que exigirá la movilización de las administraciones y de los actores privados. Y en BOE de 21/05/2021 fue publicada la Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética la cual contiene los elementos reguladores del primer PNIEC español, el actual PNIEC 2023-2030, llamado a orientar las grandes decisiones en materia de política energética y climática y las inversiones públicas y privadas asociadas a esta. Tanto la ELP como el PNIEC tienen el mismo objetivo final: la neutralidad climática de España en 2050 de manera que la ELP marca una senda general mientras que la ruta concreta para cada década se irá definiendo de manera detallada mediante los PNIEC que serán elaborados cada diez años y actualizados cada cinco.

En cuanto a objetivos generales, por lo que a España se refiere, todo ello se puede resumir en que la mencionada Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética pretende la reducción del 23 % de las emisiones GEI en el periodo 1990-2030 y el *Net Zero* para el año 2050.

### La Huella de Carbono, el CHG Protocol y los tres tipos de alcance

Se denomina “Huella de Carbono” (HC) al indicador ambiental que intenta reflejar la totalidad de las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero (GEI) liberadas a la atmósfera como consecuencia de una actividad, siendo el CO<sub>2</sub> la unidad universal de medida del potencial de calentamiento atmosférico.

El GHG Protocol (*Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard*) es la metodología internacionalmente más empleada para medir y gestionar las emisiones de GEI emitidas por una organización de cualquier tipo. En dicha metodología, y con el fin de facilitar la detección de todas las emisiones, se define tres tipos de alcance:

- Alcance 1: emisiones directas de GEI de fuentes que son propiedad o están controladas por la organización. En el caso de la Dirección General de Carreteras incluye las emisiones relacionadas con sus instalaciones propias y flota de vehículos, principalmente.
- Alcance 2: emisiones indirectas de GEI debidas a la generación de la electricidad consumida por la organización. Relacionado con este cálculo se ha publicado recientemente la Estrategia de Eficiencia Energética 2030 de la RCE, cuyo principal objetivo es reducir el consumo energético y, por tanto, reducir sus emisiones asociadas.
- Alcance 3: otras emisiones indirectas, entre las que se incluye, a los efectos de la Dirección General de Carreteras como organización, las emisiones que están fuera de su control operacional debido a su externalización. En particular, las actividades de construcción y las de conservación de carreteras.

### Plan de Descarbonización 2030 de la Dirección General de Carreteras

En consonancia con ello se encuentra en desarrollo el Plan de Descarbonización de la Dirección General de Carreteras el cual en una primera fase (conocimiento del estado actual mediante el cálculo de emisiones del año 2021) se ha centrado en la cuantificación de las emisiones de GEI asociadas a su propia actividad en los alcances 1 y 2 y, en cuanto al alcance 3, a las actividades de los Sectores de Conservación y Explotación de la Red de Carreteras del Estado (RCE) principalmente. De esta manera se ha establecido la base esencial para desarrollar la ruta de descarbonización de la DGC, constituyendo el estudio realizado





un importante paso en la determinación de los puntos críticos, cuantificación de emisiones y obtención de indicadores relativos a dichos alcances.

El GHG Protocol es compatible también con las directrices del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) lo que ha posibilitado la inscripción de la huella de carbono de la DGC para sus alcances 1 y 2 en la Sección A “Huella de Carbono y de compromiso de reducción de emisiones de GEI” del Registro de Huella, Compensación y Proyectos de Absorción de CO<sub>2</sub>, obteniendo por primera vez el sello de “Cálculo”.

### **Previsión de avanzar en el cálculo de la Huella de Carbono del alcance 3**

El Plan de Descarbonización 2030 de la DGC contempla como medida transversal enfocada en el alcance 3, la introducción progresiva del cálculo de la Huella de Carbono en sus actividades externalizadas, como lo son las obras de construcción y las de conservación de carreteras.

Es evidente que la cuantificación completa del alcance 3 será complicada y compleja pues son numerosos los elementos que considerar y siendo, tanto en el caso de las obras de construcción como en las de conservación, muy numerosas las unidades de obra que pueden ser llevadas a cabo y además en muy diversas circunstancias. Pero teniendo en cuenta que los firmes de carreteras y sus explanadas son uno de los activos más importantes objeto además de las principales actuaciones de inversión en la RCE, parece necesario comenzar a calcular su huella de carbono en la fase de construcción.

### **Planteamiento adoptado en la presente Orden Circular para el cálculo de la Huella de Carbono de la construcción o rehabilitación de los firmes y de la formación de explanada**

Las vigentes normas 6.1 IC “Secciones de firme” y 6.3 “Rehabilitación de firmes” de la Instrucción de Carreteras fueron aprobadas mediante sendas Orden FOM/3460/2003 y Orden FOM/3459/2003, ambas de 28 de noviembre de 2003 (BOE de 12 de diciembre de 2003), y en ellas se incluyó la formación o reparación de la explanada consistente en la superficie sobre la que apoya el firme, es decir, el cimiento del firme aun cuando no pertenece a la estructura de este. Así, la 6.1 IC establece en su Figura 1 un cuadro de soluciones para la formación de la explanada, según categoría de esta y tipo de suelo presente, de manera que cada una de las soluciones puede ser considerada a modo de “sección de explanada”, y en sus Figuras 2.1 y 2.2 se establece el catálogo de secciones de firme para las distintas categorías del tráfico pesado y de la explanada.

Ambas normas fueron concebidas para los materiales y técnicas de la época, por lo que en la Tabla 6 “Espesor de capas de mezcla bituminosa en caliente” de la 6.1 IC se contemplaba únicamente las que figuraban en los entonces vigentes artículos 542 “Mezclas bituminosas en caliente” (en el que se incluían las mezclas de los tipos D, S, G, MAM y PA) y 543 “Mezclas bituminosas discontinuas en caliente para capas de rodadura” (en el que incluían las de los tipos M y F) del PG-3 al tiempo que en el apartado 8.4 “Materiales” de la 6.3 IC se indicaba expresamente que, a los efectos de aplicación de esa norma, sólo se consideraban las unidades de obra más usuales y de comportamiento suficientemente experimentado, adoptándose como materiales de comparación las mezclas tipo D, S y G del mencionado artículo 542 y el pavimento de hormigón (artículo 550 del PG-3).

Ahora bien, desde la simultánea publicación de la 6.1 IC y de la 6.3 IC se han sucedido los cambios en la normativa relativa a las mezclas bituminosas, como consecuencia del avance de las técnicas y del conocimiento de su comportamiento, así como de la adaptación de la normativa española a la serie de normas europeas armonizadas EN 13108 “Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales”





mediante la que se ha ido incorporando, en primer lugar, las mezclas tipo AC, BBTM y PA, a las que luego han seguido las mezclas del tipo SMA (OC 3/2019), y las del tipo AUTL (OC 3/2022).

Además, en paralelo, se ha ido desarrollando la normativa sobre reutilización de firmes con el consiguiente paulatino incremento del empleo del asfalto recuperado (RA) en la fabricación de mezclas bituminosas, siendo la reciente OC 2/2023 sobre reutilización de capas de firmes y pavimentos bituminosos el último paso dado en ese campo, mediante la cual se ha dado nueva redacción a los artículos 20, 21 y 22 del PG-4.

Y, también en paralelo, se han desarrollado técnicas de fabricación de mezclas semicalientes en los diferentes tipos de mezclas bituminosas en incluso en las del artículo 22 del PG-4 el cual, mediante la mencionada OC 2/2023 ha pasado a denominarse “Reutilización en caliente y semicaliente en central de capas bituminosas”.

A fin de adoptar el contenido del apartado 6.2 “Materiales para las secciones de firme” de la 6.1 IC, así como el de su Tabla 6 “Espesor de capas de mezcla bituminosa en caliente” a los cambios que se estaban produciendo, se emitió la OC 1/2023 que actualiza el contenido de dicho apartado 6.2 y de la Tabla 6.

Además, tal y como se establece en el punto Tercero de la OC 1/2023: *“Todas las menciones en la norma 6.1 IC a las mezclas bituminosas en caliente deben entenderse como referencias a mezclas bituminosas en caliente o semicaliente, con las limitaciones de empleo, en su caso, expresadas en el Anexo”*. De ello resulta la necesidad ineludible, y así se ha procedido en el estudio ahora realizado, a considerar las mezclas bituminosas semicalientes.

A este respecto, en el mencionado Anexo de la OC 1/2023 figura que en el apartado 6.2.1, ahora titulado “Mezclas bituminosas en caliente y semicaliente”, se incluya el siguiente párrafo en primer lugar:

*“A los efectos de los artículos 542 y 543 del PG-3, del 544 de la OC 3/2019 y del 545 de la OC 3/2022, se denominan mezclas bituminosas semicalientes a aquellas en las que, mediante el empleo de betunes especiales, aditivos u otros procedimientos, se reduce la temperatura de mezclado en, al menos, veinte grados Celsius (20 °C) respecto a la mezcla en caliente equivalente, pudiendo emplearse en las mismas condiciones que estas en las categorías de tráfico pesado T1 a T4.”*

Mediante dicha OC 1/2023 se ha procedido a importantes cambios en cuanto al empleo de mezclas bituminosas en caliente o semicaliente, entre los que se puede destacar:

- Sustitución de las referencias a “Mezclas bituminosas en caliente (D, S y G)” por “Mezclas bituminosas en caliente o semicaliente tipo AC (D y S)”.
- Sustitución de las referencias a “Mezclas bituminosas discontinuas en caliente (M y F)” por “Mezclas bituminosas discontinuas en caliente o semicaliente tipo BBTM (A y B)”.
- Inclusión de las “Mezclas bituminosas en caliente o semicaliente tipo SMA”, con coeficiente de equivalencia de uno (1).
- Inclusión de las “Mezclas bituminosas en caliente o semicaliente tipo AUTL”, con coeficiente de equivalencia de uno (1).
- De la mejora del conocimiento del comportamiento de los diferentes tipos de mezclas bituminosas ha resultado la conveniencia de ampliar el ámbito de aplicación de algunas



mezclas, como es el caso, entre otras, de las MAM en capa intermedia, y de reducir o suprimir, salvo estudio especial que lo justifique, el uso de otras, como es el caso de las AC tipo G y de las mezclas tipo PA-16.

Coherentemente con todo lo anterior, **la presente Orden Circular recoge** las modificaciones recogidas en la OC 1/2023 en cuanto al empleo de mezclas en caliente y en semicaliente y además ofrece, mediante una serie de consideraciones y simplificaciones, **unos valores de referencia para la huella de carbono correspondiente a la “etapa de producto” más la “etapa de proceso de construcción”** expresada como masa de CO<sub>2</sub> equivalente, de **las veintinueve combinaciones de materiales para la formación de explanadas y las sesenta y una secciones de firmes flexibles, semiflexibles, semirrígidos y rígidos contempladas en la 6.1 IC** así como ejemplos para el caso de rehabilitación de firme.

En el estudio realizado se ha partido de que la medición de la huella de carbono de producto (HCP) ha sido normalizada mediante la norma UNE-EN ISO 14067 “*Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para la cuantificación*” y que consiste en una metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en la que lo que se considera son las emisiones de GEI expresadas como masa de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) por unidad funcional. Dicha metodología de ACV está a su vez estandarizada en la norma UNE-EN ISO 14040 “*Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia*” y en la norma UNE-EN ISO 14044 “*Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requisitos y directrices*”.

Y otra serie de normas tenidas en cuenta al realizar el estudio recogido en la presente Orden Circular la componen la serie UNE-EN ISO 14020:2022 “*Declaraciones y programas ambientales para productos. Principios y requisitos generales*” (antes denominada “*Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales*”) y en especial la UNE-EN ISO 14025:2010 relativa a la Declaración Ambiental de Producto, DAP (antes: declaración ambiental Tipo III) pues en dicho etiquetado (DAP) se incluye información verificada y acreditada de la huella de carbono del correspondiente producto, norma la cual se suma a la UNE-EN ISO 14024:2018 relativa a la Ecoetiqueta (antes: etiqueta ambiental Tipo I) y a la UNE-EN ISO 14021:2017 relativa a la Afirmación ambiental autodeclarada (antes: etiqueta ambiental Tipo II).

Las fuentes de información y datos empleadas para las dos etapas consideradas en esta Orden Circular han sido varias, principalmente:

- La huella de carbono correspondiente a la etapa de producto de la mayor parte de los productos empleados en formación de explanadas y firmes, así como de los materiales básicos, se ha obtenido recurriendo a la creciente disponibilidad de Declaraciones Ambientales de Producto (DAP).
- La huella de carbono correspondiente a la etapa de construcción se ha calculado a partir de la información contenida en la Justificación de Precios de la Base de Precios de Referencia de la DGC (OC 4/2023), teniendo en cuenta, entre otros aspectos, el no incurrir en duplicidades que se derivarían de considerar los efectos de materiales o maquinaria que estuviesen ya incluidos en las DAP objeto de la etapa precedente.
- Los factores de emisión correspondientes al uso de gasóleos por los vehículos de transporte y la maquinaria de puesta en obra se han tomado, en lo referente a sus emisiones directas, del Sistema Español de Inventario y Proyecciones de Emisiones a la Atmósfera de GEI y contaminantes atmosféricos, del MITERD (2022), y en lo referente a las emisiones de precombustión (aguas





arriba, *upstream*) correspondientes a la entrega del carburante se ha acudido a la base de datos Ecoinvet 3.10.

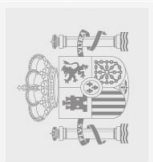
Aspectos que no se han considerado son aquellas actividades en las correspondientes obras que no sean las involucradas en la ejecución material, y tampoco, por ser comparativamente de escasa importancia, las del primer establecimiento o traslado de maquinaria y equipos, como tampoco se ha considerado las emisiones GEI correspondientes a la fabricación de dicha maquinaria y equipos o a su mantenimiento ni las contribuciones del consumo de agua, por la maquinaria o unidades de obra, a las emisiones de GEI. Se ha considerado que este conjunto de simplificaciones no excluye más del 5 % de las emisiones totales.

A lo largo de la presente la Orden Circular se van exponiendo los sucesivos pasos del cálculo realizado, y las simplificaciones, aproximaciones y consideraciones adoptadas en cada uno de ellos. Así, en lo referente a las explanadas, entre otras consideraciones se incluyen:

- Que las estabilizaciones de suelo se realizan con material de la propia traza, sin necesidad de transporte adicional y empleando cemento en un porcentaje del 2 % en masa en los S-EST1 y de un 3 % en los S-EST2.
- Que los suelos tolerables, adecuados y seleccionados se han obtenido de préstamos.
- No se ha contabilizado contribución alguna que eventualmente procediese de las capas de separación a las que se refiere el apartado 5.1.e) de la 6.1 IC para la formación de explanadas del tipo E2 y E3 en las categorías de tráfico pesado T00 a T2 cuando haya suelos inadecuados o marginales con finos plásticos bajo suelos adecuados o seleccionados para la explanada.
- En las explanadas en roca se ha contabilizado un espesor promedio de hormigón de 2 cm/m<sup>2</sup>.

En cuanto a los firmes, además de que se presentan por separado los resultados de la huella de carbono de las secciones de firme flexibles y semiflexibles por un lado y de semirrígidos y rígidos por otro, algunas de las consideraciones adoptadas son:

- De manera análoga a como se ha procedido en las justificaciones de precios de la Base de Precios de Referencia de la DGC, las distancias de transporte de zavorras artificiales y de mezclas bituminosas están implícitamente determinadas mediante los rendimientos de puesta en obra y número de vehículos de transporte previsto.
- Una consideración que destacar es la relativa al beneficio ambiental de la reutilización de RA en las mezclas bituminosas. El ahorro se ha considerado del siguiente modo: se han calculado las emisiones evitadas por el empleo de RA en lugar de árido y betún. Se ha supuesto que el RA contiene un 4,2 % de betún y el resto es árido. A esta cantidad se han restado las emisiones que suponen el tratamiento del RA (cribado y triturado), que se han supuesto equivalentes a las de la etapa A3 de la DAP de áridos naturales.
- Se ha supuesto que el betún activable en el RA es de un 4,2 % sobre mezcla, y que sustituye a la correspondiente fracción de betún convencional de las mezclas tipo AC, y la de betún modificado en las mezclas tipo BBTM.
- Además, para las mezclas que contienen material fresado reutilizado, se han considerado diferentes porcentajes de incorporación de RA y calculado sus efectos. Dichos porcentajes han sido del 10 %, 15 % para todas ellas (AC y BBTM) y además el 20 % para el caso de las AC.
- En cuanto a los espesores de las capas de mezclas bituminosas, se ha adoptado unos determinados espesores para los diferentes tipos de capa rodadura y el espesor restante se



ha distribuido en capas intermedias y de base, con alguna consideración adicional acerca de ello y de las dotaciones de los riegos bituminosos y áridos de cubrición. Las tablas con los espesores de mezcla y las dotaciones de los riegos se especifican en el anexo a esta orden circular.

- Todas las menciones en la Norma 6.1 IC a las mezclas bituminosas en caliente deben entenderse como referencias a mezclas bituminosas en caliente o semicaliente, con las limitaciones de empleo, en su caso, expresadas en el Anexo de la OC 1/2023.

Los resultados de todo lo anterior se muestran en las tablas que figuran al final del Anexo de la presente Orden Circular, en las que figuran unos valores estimados de la huella de carbono expresado en  $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$  para cada caso considerado.

### Consideraciones ambientales

Del conjunto de impactos ambientales, esta Orden Circular tiene en cuenta, como primer paso, el cálculo de la huella de carbono a partir de la medida de los “Gases de efecto invernadero”. Así, el objetivo de esta Orden Circular es que **el dimensionamiento de la construcción o rehabilitación de un firme se haga**, además de siguiendo los distintos criterios básicos recogidos en la correspondiente normativa, **con criterios ambientales**.

Por tanto, además de la justificación técnico-económica de la solución adoptada en fase de proyecto, el cálculo de la huella de carbono debe ser un parámetro adicional a considerar, como primer paso; **si bien la decisión del proyectista debe soportarse además en un análisis global de la durabilidad estimada de las distintas alternativas** (bien sea apoyándose en los resultados del sistema de gestión de firmes implantado, en la consideración de escenarios de conservación o en la experiencia). Por tanto, si bien el cálculo de la huella de carbono en las fases de operación y fin de vida queda fuera del alcance de esta Orden Circular, en fase de proyecto no deben penalizarse soluciones que compensen unas mayores emisiones a la puesta en obra con unas necesidades de conservación menores en la fase de operación. **En definitiva, la durabilidad de las distintas alternativas estimada por el proyectista sigue siendo un criterio clave en la elección de la solución y permite interpretar de forma equilibrada los resultados de huella de carbono a la puesta en servicio de la obra obtenidos con los criterios recogidos en esta Orden Circular, entre tanto sea posible completar el análisis del ciclo de vida con las restantes fases.**

Los cálculos realizados en la presente Orden Circular son relativos a las fases de proyecto y de realización de obra de nueva construcción o de rehabilitación pues, tal y como se ha indicado, en el cálculo de la huella de carbono **no se han considerado las etapas de uso y de fin de vida**.

Con las justificaciones anteriores, y en general, las secciones de firmes semirrígidas con suelo cemento resultan, para el conjunto de las etapas consideradas (de producto y de proceso de construcción), más favorables en emisiones de  $\text{CO}_2$  que los firmes con ahorros en categorías de tráfico intenso, tanto para mezclas en caliente como para mezclas semicalientes. En cambio, para categorías de tráfico bajos (T3 y posteriores) resultan más favorables ambientalmente las soluciones flexibles y semiflexibles.

También es importante destacar que mediante la publicación de esta Orden Circular, entre otros fines, se pretende impulsar **el logro del ahorro medio en  $\text{kg}$  de  $\text{CO}_2\text{e}$  existente entre una mezcla semicaliente respecto una mezcla en caliente y que es de unos 2  $\text{kg}$  de  $\text{CO}_2\text{e}$  por  $\text{m}^2$  de sección de firme de nueva**



**construcción, así como el ahorro en emisiones que se obtiene mediante todas las técnicas de reutilización de las capas de firme.**

### **Aprobación y aplicación de esta Orden Circular**

Por lo anterior, y para seguir avanzando en la difusión y aplicación de las metodologías de cálculo de la huella de carbono generada por las actividades de la Dirección General de Carreteras, a propuesta de la DIRECCIÓN TÉCNICA, la DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS ha resuelto lo siguiente:

#### **PRIMERO**

Aprobarlos criterios adoptados para el cálculo de la Huella de Carbono de las secciones de firme y de formación de explanada en las etapas de producto (módulos A1, A2 y A3) y de proceso de construcción (módulos A4 y A5), que figura a continuación como Anexo.

#### **SEGUNDO**

Por consideraciones ambientales, en el análisis de soluciones para la construcción o la rehabilitación de un firme, allí donde los artículos 542 y 543, del PG-3, y artículo 544 de la OC 3/2019 y 545 de la OC 3/2022 permitan su empleo, **será preceptivo tener en cuenta y priorizar las técnicas de mezclas semicalientes**, siempre que la opción elegida sea idónea desde el punto de vista técnico y económico. En caso de optarse por el empleo de mezclas de caliente ello deberá justificarse convenientemente.

#### **TERCERO**

En los proyectos a los que se refiere el punto CUARTO de esta resolución, será preceptivo, **el cálculo de la huella de carbono correspondiente a las etapas de producto (módulos A1, A2 y A3) y de proceso de construcción (módulos A4 y A5)** empleando para ello los valores estimados en el anejo de la presente Orden Circular; o excepcionalmente los resultantes de otros cálculos debidamente justificados, con la autorización del Director General.

#### **CUARTO**

##### **Disposición transitoria única. Aplicación a los proyectos.**

En todos aquellos proyectos de la Dirección General de Carreteras en los que se prevea que se realizará una superficie total igual o superior a 10.000 m<sup>2</sup> de firmes de nueva construcción de tipo flexible, semiflexible, rígido o semirrígido y/o como resultado de rehabilitación de firme existente se deberá calcular la huella de carbono a la que se refiere el apartado TERCERO de la presente resolución.

- Si la Orden de Estudio es autorizada con posterioridad a la aprobación de esta Orden Circular, se procederá al cálculo de la huella de carbono causada por dichos firmes y sus explanadas siguiendo su contenido y con los ajustes y consideraciones adicionales que, en cada caso, se consideren oportunos lo cual se expondrá y justificará con detalle, todo ello con el objeto de ir avanzando y compartiendo el conocimiento y la práctica en esta materia.





- Si la Orden de Estudio ha sido autorizada con anterioridad, pero no se ha iniciado la redacción de su proyecto, se procederá de igual manera que lo indicado en el párrafo anterior.
- Si el proyecto se encuentra actualmente en fase de redacción, se deberá elevar consulta a la Subdirección General correspondiente sobre la conveniencia de aplicar el contenido de esta Orden Circular de igual manera que en los dos párrafos anteriores. Para la toma de decisión se valorará el grado de avance del proyecto, las previsiones en cuanto a la licitación de la correspondiente obra y plazos que cumplir para ello, y la dificultad especial que en algún caso pueda presentarse, y se resolverá en consecuencia.

## QUINTO

Esta Orden Circular entrará en servicio a partir del día siguiente al de su firma.

Madrid, noviembre de 2024

El Director General de Carreteras  
(fecha y firma digital al margen)

Juan Pedro Fernández Palomino

Este documento es el resultado de la colaboración de técnicos de la Dirección General de Carreteras:

Valverde Jiménez Ajo, ITOP, Dirección Técnica  
José Manuel Blanco Segarra, ICCPE, Demarcación CE en Extremadura  
Álvaro Navareño Rojo, ICCPE, Dirección Técnica  
Antonio Muruais Rodríguez, ICCPE, Subdirección General de Sostenibilidad e Innovación  
José Manuel Sanz García, ICCP, INECO, Dirección Técnica

Del sector privado:

Anna París Madrona, Ing. de Montes, Parma Ingeniería  
Alberto Bardesi Orue-Echevarría, ICCP, Parma Ingeniería  
Jaume Carbó Audi, ICCP, Parma Ingeniería  
Jordi Barril Seroles, ICCP, Parma Ingeniería

Este documento también ha contado con la supervisión por parte de expertos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).





## ANEJO Nº 1 DE LA ORDEN CIRCULAR OC 03/2024 SOBRE CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO (ETAPAS A1 – A5) DE LA CONSTRUCCIÓN O REHABILITACIÓN DE FIRMES

### 1 EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LAS SECCIONES DE FIRME Y DE FORMACIÓN DE EXPLANADAS

#### 1.1 EL CICLO DE VIDA, ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV) Y SUS ETAPAS

Para una mejor comprensión de este anejo, se exponen a continuación los principales conceptos en el cálculo de la Huella de Carbono (HC).

##### **El ciclo de vida**

El concepto “ciclo de vida” es definido en la última versión (versión corregida de enero de 2022) de la vigente norma UNE-EN ISO 14040:2006 “Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia” de la siguiente manera:

*“Etapas consecutivas e interrelacionadas, desde la adquisición o generación de materia a partir de recursos naturales hasta la disposición final”*

##### **El análisis de ciclo de vida (ACV) y el análisis del inventario de ciclo de vida (ICV)**

En esa misma norma UNE-EN ISO 14040:2006 se señala que *“La creciente conciencia con respecto a la protección ambiental, y los posibles impactos asociados con los productos, tanto manufacturados como consumidos, han aumentado el interés por el desarrollo de métodos para comprender mejor y tratar esos impactos. Una de las técnicas desarrolladas en este sentido es el análisis del ciclo de vida (ACV).”*

Dicho “análisis del ciclo de vida” (ACV) es definido en la UNE-EN ISO 14040:2006 como:

*“Recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida”*

Donde cada “entrada” es el *“Flujo de producto, de materia o de energía que entra en un proceso unitario”* y donde cada “salida” es el *“Flujo de producto, de materia o de energía que sale de un proceso unitario”*.





El ACV es una técnica iterativa, en el que las fases individuales utilizan resultados de las fases previas y en el que se debe considerar el ciclo de vida completo “desde la extracción y adquisición de la materia prima, pasando por la producción de energía y materia, y la fabricación, hasta el uso y el tratamiento al final de la vida útil y la disposición final” para tratar los impactos ambientales potenciales.

Fase principal del ACV es la denominada “fase de análisis del inventario de ciclo de vida” (fase ICV) y que consiste en la elaboración del inventario de los datos de cada “entrada” y “salida” en relación con el sistema bajo estudio.

### **Etapas del ciclo de vida**

Para la consideración de las sucesivas etapas del ciclo de vida de los productos que constituyen las secciones de firme y de formación de explanada se ha acudido en primer lugar a la UNE-EN 15804:2012+A2:2020 “Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones Ambientales de Producto. Reglas de categoría de producto básicas para los procesos de construcción”, en la cual se distinguen las siguientes:

- **Etapas de producto:** consistente, en nuestro caso, en el suministro de materias primas, transporte de materias primas y fabricación de los materiales (los productos) que compondrán cada sección de firme o de explanada.
- **Etapas de proceso de construcción:** consistente, en nuestro caso, en el transporte a la obra y en su puesta en obra.
- **Etapas de uso:** consistente en todo lo relativo a las actuaciones y funcionamiento de la estructura en si de las secciones de firme o de explanada, tales como su mantenimiento, reparación, sustitución y rehabilitación.
- **Etapas de fin de vida:** consistente en la demolición, transporte hasta el lugar de tratamiento de los residuos, tratamiento de los residuos para su reutilización, recuperación y/o reciclaje, o su eliminación, incluyendo también el suministro y el transporte de todos los materiales y productos, y el uso de energía y agua asociado.





Información del ciclo de vida del producto de la construcción														Información adicional más allá del Ciclo de Vida
A1-A3			A4-A5		B1-B7					C1-C4				D
Etapa de producto			Etapa proceso de construcción		Etapa de uso					Etapa de fin de vida				Beneficios y cargas mas allá del sistema
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	X	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE
Suministro de materias primas	Transporte de materias primas	Fabricación	Transporte	Proceso de construcción	Uso	Mantenimiento	Reparación	Sustitución	Rehabilitación	Deconstrucción, demolición	Transporte	Tratamiento de residuos	Eliminación de residuos	Potencial de reutilización, recuperación y reciclaje
DAP	DAP	DAP	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	
					B7	B6	Uso de energía en servicio							
					MNE	MNE	Uso de agua en servicio							

**Figura 1:** Etapas del ciclo de vida de un producto de construcción según UNE-EN 15804

En la **Figura 1** se muestran las sucesivas etapas del ciclo de vida contempladas en la mencionada norma UNE-EN 15804, lo que permite ilustrar el marco en el que se han planteado los cálculos desarrollados para obtener los resultados del presente estudio.

Del conjunto de impactos ambientales, esta Orden Circular tiene en cuenta el cálculo de la huella de carbono a partir de la medida de los “Gases de efecto invernadero”.

### La medición de la Huella de carbono de producto (HCP), la Evaluación del ciclo de vida y las Declaraciones ambientales

La medición de la huella de carbono de producto (HCP) está normalizada mediante la norma UNE-EN ISO 14067 “Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para su cuantificación”, en la cual se define a la HCP como la suma de emisiones (y absorciones, en su caso) de GEI expresadas como masa de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) y basadas en una “Evaluación del ciclo de vida”. Los resultados de la cuantificación de toda HCP se han de expresar en masa de CO<sub>2</sub>e por unidad funcional.

A su vez, la “Evaluación del ciclo de vida” está estandarizada en la norma UNE-EN ISO 14040 “Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia” y en la norma UNE-EN ISO 14044 “Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices”.





A la hora de obtener las HCP necesarias para la determinación de los Factores de Emisión (FE) otra importante serie de normas que tener en cuenta es la serie UNE-EN ISO 14020:2022 “Declaraciones y programas ambientales para productos. Principios y requisitos generales” —antes denominada “Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales”— en la que la “declaración ambiental” es definida como *“Información sobre uno o más aspectos ambientales o impactos ambientales de un producto, que pretende informar a un público previsto y pretende influir en el mercado de este producto”*.

Es de subrayar que en dicha definición el “público previsto” hace referencia a aquella persona u organización que utiliza la declaración ambiental para tomar decisiones.

Los tipos de declaración ambiental contemplados en dicha UNE-EN ISO 14020:2022 son los siguientes:

- **Ecoetiqueta** (antes: etiqueta ambiental Tipo I): objeto a su vez de la UNE-ISO 14024:2018. La ecoetiqueta indica la preferencia ambiental general de ese producto dentro de una categoría de producto en particular, basada en el cumplimiento de múltiples criterios que se basan en consideraciones del ciclo de vida. La licencia para usarla es otorgada mediante un programa voluntario e independiente operado por una parte que no esté asociada con el suministro del producto.
- **Afirmación ambiental autodeclarada** (antes: etiqueta ambiental Tipo II): objeto a su vez de la UNE-ISO 14021:2017. Dicha afirmación es proporcionada por personas o una organización que participa en el suministro o la comercialización del producto y que desean demostrar aspectos ambientales positivos específicos.
- **Declaración ambiental de producto (DAP) (EPD por sus siglas en inglés)** (antes: declaración ambiental Tipo III): objeto a su vez de la UNE-EN-ISO 14025:2010. Proporciona datos ambientales de un producto utilizando parámetros predeterminados resultantes de un ACV, además de información ambiental adicional.
- **Comunicación de huellas:** objeto de la UNE-EN ISO 14026:2018. Es el resultado de la preparación, suministro y distribución de las huellas e información complementaria.





## 1.2 PLANTEAMIENTO DE LOS ACV DE FIRMES Y FORMACIÓN DE EXPLANADAS

### 1.2.1 Etapas del ciclo de vida consideradas en el presente documento

De las etapas reflejadas en la Figura 1, la “Etapa de uso” y la “Etapa de fin de vida” del ciclo de vida de los firmes y de las explanadas no han sido analizadas (es decir, sus correspondientes “módulos” no han sido evaluados), como tampoco lo ha sido la denominada “Información adicional más allá del ciclo de vida”, ya que ello excedería al alcance de esta Orden Circular pues requeriría la previa determinación de unos escenarios futuros que, al menos por el momento, son demasiado inciertos en tanto no se alcance un consenso técnico suficiente o sean oportunamente establecidos formando parte de estrategias más amplias.

Por lo anterior, las etapas analizadas en el presente documento son:

- La Etapa de producto (módulos A1 + A2 + A3)
- La Etapa proceso de construcción (módulos A4 + A5)

### 1.2.2 Principales fuentes de información y consideraciones

Para las Etapas que se han considerado en la Orden Circular las principales fuentes de información y consideraciones adoptadas han sido:

- En general, la huella de carbono correspondiente a la “Etapa de producto” (módulos A1+A2+A3), en la que se incluye la de su fabricación (A3), de la mayor parte de los productos empleados en formación de explanadas y firmes, así como de los materiales básicos, ha sido obtenida recurriendo a la creciente disponibilidad de declaraciones ambientales de producto (DAP) (antes denominadas etiquetas tipo III) de las cuales se trata y se relacionan más adelante.
- Una excepción la constituye el caso de las mezclas semicalientes en las que, para la etapa A3 de fabricación, se ha modificado a la baja, mediante cálculos propios realizados para este estudio, la masa de CO<sub>2</sub>e consideradas, teniendo en cuenta que en ellas se reduce en unos 30 °C<sup>1</sup> la temperatura de fabricación.
- La huella de carbono correspondiente a la “Etapa proceso de construcción” (módulos A4+A5) ha sido calculada a partir de la información contenida en los cuadros de justificación de precios para los

<sup>1</sup> Se ha establecido aquí 30 °C como la temperatura promedio que se puede reducir en el proceso de fabricación de mezcla bituminosa con cualquiera de las técnicas empleadas de forma habitual en una instalación asfáltica.





proyectos de la Dirección General de Carreteras (DGC) del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, en cuanto a la composición, potencia, utilización y rendimiento de los equipos de transporte y puesta en obra. Se ha tenido en cuenta, entre otros aspectos, el no incurrir en duplicidades que se derivarían de considerar los efectos de materiales o maquinaria que estuviesen ya incluidos en las DAP objeto de la etapa precedente.

- Además, se han efectuado consultas a fabricantes de maquinaria para completar o actualizar la descripción de parte de la maquinaria contemplada en las mencionadas justificaciones de precios y ajustar los factores de carga o los consumos de combustible de los vehículos de transporte y la maquinaria de puesta en obra.
- Es también de señalar que los factores de emisión (FE) correspondientes al uso de gasóleos en los vehículos de transporte y en la maquinaria de puesta en obra proceden de los Inventarios Nacionales del MITERD (2022) para las emisiones directas de GEI y de la base de datos Ecoinvent 3.10 para las emisiones de precombustión (aguas arriba, *upstream*) de la entrega del carburante.

### 1.3 LÍMITES Y ALCANCE DE LOS ACV PLANTEADOS

Los ACV planteados en esta Orden Circular, de acuerdo con el esquema modular definido en la norma UNE-EN 15804:2012+A2:2020 y por los motivos arriba expuestos, no son del tipo “de la cuna a la tumba”, sino que lo son del tipo “de la cuna a la puerta”, pues lo que incluyen son los módulos A1 a A3 (etapa de producto), y además se han evaluado los módulos adicionales A4 y A5 (etapa proceso de construcción).

Así pues, los ACV desarrollados en esta Orden Circular no comprenden las actividades de cualquier tipo (gastos generales) distintas de las involucradas en la ejecución material de las obras, ni tampoco, por ser comparativamente de escasa importancia, las de primer establecimiento o los traslados de maquinaria y equipos.

Los cálculos correspondientes a la etapa de construcción son “sin infraestructura”, es decir, no consideran las emisiones de GEI correspondientes a la fabricación en sí de los vehículos o maquinaria ni las asociadas a su mantenimiento, sino que se refieren a un único “flujo de entrada” (concepto este contemplado en la UNE-EN ISO 14040:2006): el gasóleo utilizado por los vehículos de transporte y por la maquinaria de puesta en obra. Tampoco se ha considerado, por su escasa importancia a estos efectos, la contribución del





consumo de agua a las emisiones de GEI, por los equipos de maquinaria o en las unidades de obra que lo requieren.

De acuerdo con las estimaciones efectuadas, así como con las observaciones recogidas por distintas fuentes, esta simplificación es irrelevante a efectos de las emisiones del transporte y, en el caso de la maquinaria, supone menos del 5 % de las emisiones correspondientes a cualquier unidad de obra.

En conclusión, se considera que, pese a las simplificaciones efectuadas, han sido incluidas al menos el 95 % de todas las entradas y salidas de masa y energía de los sistemas analizados en el cálculo de la huella de carbono de cada partida de obra y, por consiguiente, en las unidades funcionales.

## 2 LAS SECCIONES DE FIRME Y FORMACIÓN DE EXPLANADA

### 2.1 SECCIONES DE LA FORMACIÓN DE EXPLANADAS

A continuación, se representa en la Figura 2 el cuadro de soluciones para la formación de explanadas establecido por la vigente 6.1 IC.

		TIPOS DE SUELOS DE LA EXPLANACIÓN (DESMONTES) O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (TERRAPLENES, PEDRAPLENES O RELLENOS TODO-UNO)				
		SUELOS INADECUADOS Y MARGINALES (IN)	SUELOS TOLERABLES (0)	SUELOS ADECUADOS (1)	SUELOS SELECCIONADOS (2) y (3)	ROCA (R)
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1 $E_{v2} \geq 60\text{MPa}$					
	E2 $E_{v2} \geq 120\text{MPa}$					
	E3 $E_{v2} \geq 300\text{MPa}$					

IN	Suelo inadecuado o marginal (Art. 330 del PG-3)	0	Suelo tolerable (Art. 330 del PG-3)	1	Suelo adecuado (Art. 330 del PG-3)	2	Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)	3	Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)
S-EST 1	Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)	S-EST 2	Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)	S-EST 3	Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)	HM-20	Hormigón (Art. 610 del PG-3) tipo de material S-EST 3 30 ← espesor mínimo en cm suelo de explanación o de la obra de tierra subyacente 2		

FIGURA 1. FORMACIÓN DE LA EXPLANADA

Figura 2: secciones para formación de explanadas (Figura 1 de la 6.1 IC)

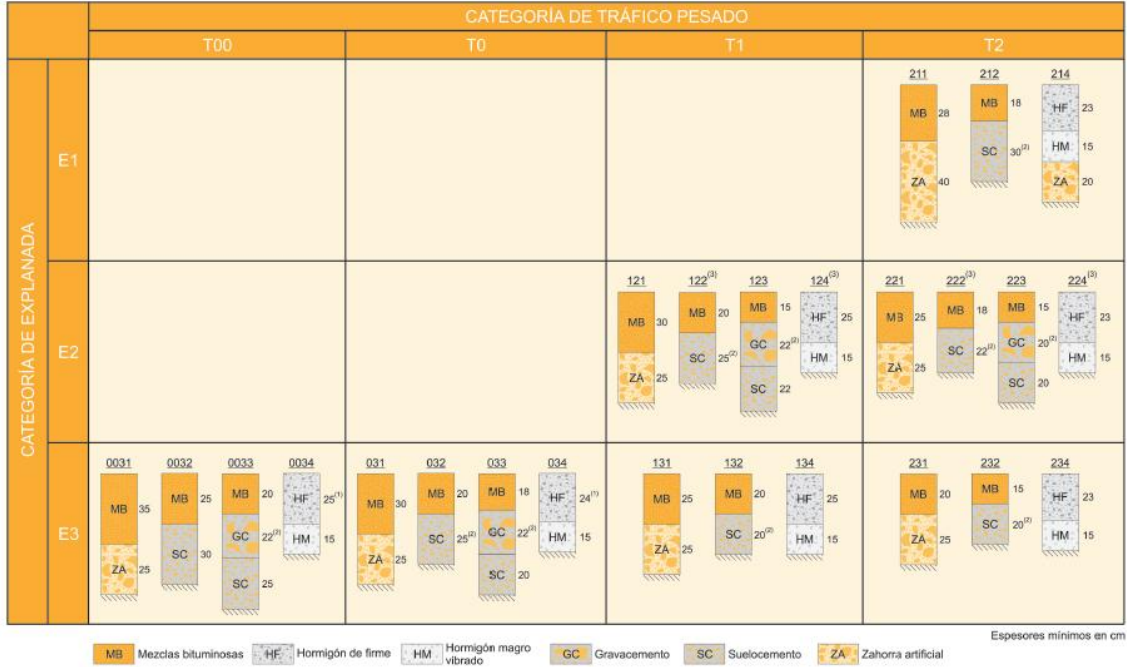
FIRMADO por : JUAN PEDRO FERNANDEZ PALOMINO. A fecha: 15/11/2024 10:35 AM  
DIRECTOR GENERAL DE CARRETERAS  
Total folios: 49 (17 de 49) - Código Seguro de Verificación: MFOM02SEFD787F440F577614F244. Verificable en https://sede.mitma.gob.es



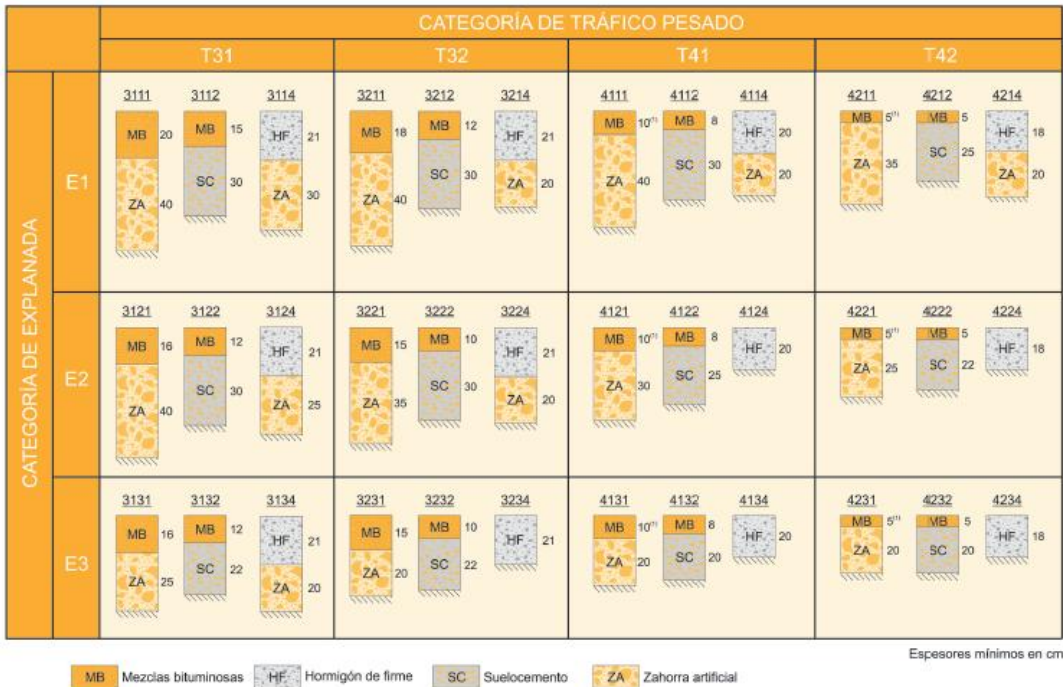


## 2.2 SECCIONES DE FIRME

En la Figura 3 del presente documento se representa el catálogo completo de secciones de firme establecido por la 6.1 IC.



- (1) Para las categorías de tráfico pesado T00 y T0 se emplearán únicamente pavimentos continuos de hormigón armado con los espesores indicados.  
 (2) Capas tratadas con cemento que deberán prefisurarse con espaciados de 3 a 4 m, de acuerdo con el artículo 513 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3).  
 (3) Para poder proyectar esta solución será preceptivo que la capa superior de la explanada E2 esté estabilizada con cemento.



(1) Estas capas bituminosas podrán ser proyectadas con mezclas bituminosas en caliente muy flexibles, gravaemulsión sellada con un tratamiento superficial o mezcla bituminosa abierta en frío sellada con un tratamiento superficial.

**Nota 1:** Para las categorías de tráfico pesado T3 (T31 y T32) las capas tratadas con cemento deberán prefisurarse con espaciados de 3 a 4 m, de acuerdo con el artículo 513 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3).

**Nota 2:** En la categoría de tráfico pesado T42 con tráficos de intensidad reducida (menor que 100 vehículos/carril/día) podrá disponerse un riego con gravilla bicapa como sustitución de los 5 cm de mezcla bituminosa.

**Figura 3:** Catálogo de secciones de firme (Figuras 2.1 y 2.2 en de la 6.1 IC)





### 3 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

#### 3.1 UNIDADES FUNCIONALES Y FACTORES DE EMISIÓN ADOPTADOS

En esta Orden Circular, para reflejar los resultados de huella de carbono (HC) correspondientes a cada sección de firme y de formación de explanada, las unidades funcionales que han sido adoptadas son:

- **m<sup>2</sup> de formación de explanada (cada una de las explanadas con el espesor considerado en la Norma 6.1IC).**
- **m<sup>2</sup> de sección de firme (cada uno de los firmes con el espesor considerado en la Norma 6.1IC).**

En ambos casos se refieren a la obra terminada para su puesta en servicio.

El Factor de Emisión (FE) adoptado es: kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente por metro cuadrado de sección (kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>). Para el caso de las secciones de firme se ha adoptado aquí el símbolo FE<sub>fir</sub> y para las de formación de explanada FE<sub>exp</sub>.

De esta manera, para obtener la huella de carbono (HC) de una actuación consistente en la ejecución de una superficie media S1 de formación de explanada y de una superficie media S2 de firme, aquella sería el resultado de:

$$HC = S1 * FE_{exp} + S2 * FE_{fir}$$

La combinación de diferentes secciones de firme y de formación de explanada dará como resultado diferentes huellas de carbono, permitiendo así una primera comparación ambiental.

Por tanto, el objetivo de este documento es obtener el factor de emisión de cada sección de firme (FE<sub>fir</sub>) o de formación de explanada (FE<sub>exp</sub>), debiendo abarcar, en lo posible, y con base en el conocimiento hasta ahora disponible, sucesivas etapas del ciclo de vida de los diversos productos que constituyen la correspondiente sección de firme o de formación de explanada.





### 3.2 SIMPLIFICACIONES, APROXIMACIONES Y CONSIDERACIONES ADOPTADAS

En lo referente a explanadas, para la realización de los cálculos se han adoptado las siguientes:

- Que las estabilizaciones de suelo se realizan con material de la propia traza, sin necesidad de transporte adicional.
- Que en dichas estabilizaciones se emplea cemento en un porcentaje del 2 % en masa para los S-EST1 y de un 3 % para los S-EST2 y S-EST3.
- Que los suelos tolerables (0), adecuados (1) y seleccionados (2) y (3) se han obtenido de préstamos.
- No se ha contabilizado contribución alguna (emisión de GEI) que eventualmente procediese de capas de separación (estabilización in situ con cal en 15 cm de espesor, geotextil, membrana plástica, etc.) a las que se refiere el apartado 5.1e) de la 6.1 IC para el caso de la formación de explanadas del tipo E2 y E3 en las categorías de tráfico pesado T00 a T2 en las que bajo las capas de suelo adecuado o seleccionado vaya a haber suelos inadecuados o marginales (IN) con finos plásticos.
- En las explanadas en roca se ha contabilizado un espesor promedio de hormigón de 2 cm/m<sup>2</sup>.

Y en lo referente a firmes, para la realización de los cálculos se han adoptado las siguientes:

- Para los espesores de las capas de mezcla bituminosa, y según se refleja en el apartado 3.4 de este anexo, se han adoptado unos determinados espesores para los diferentes tipos de capa de rodadura y el espesor restante se ha distribuido en las capas intermedias y de base, con alguna consideración adicional acerca de ello y de las dotaciones de los riesgos bituminosos y áridos de cubrición.
- De manera análoga a como se ha procedido en las justificaciones de precios de la Base de Precios de referencia de la DGC (OC 4/2023), las distancias de transporte de zahorras artificiales y de mezclas bituminosas están implícitamente determinadas mediante los rendimientos de puesta en obra y número de vehículos de transporte previsto.
- Se han considerado por separado las mezclas bituminosas en caliente y las mezclas bituminosas semicalientes. Estas últimas se han considerado para todas las categorías de tráfico pesado, salvo para los tráficos T00 y T0. Los resultados obtenidos para las diferentes secciones se recogen en el apartado 5 (correspondiente al caso de que todas las mezclas





bituminosas sean en caliente) y 6 (correspondiente a que todas las mezclas bituminosas sean semicalientes).

- La capa de rodadura calculada ha sido la de una mezcla bituminosa discontinua tipo BBTM de 3 cm en todos los casos, para las categorías de tráfico pesado de T00 a T32.
- Para las categorías de tráfico pesado de T41 en adelante se ha considerado una mezcla tipo AC, como capa de rodadura con los espesores considerados en las Tablas 3 a 5, en las que también se puede encontrar cómo se ha distribuido el espesor de mezclas bituminosas restante entre las capas intermedia (INT) y de base (BB) respetando las prescripciones de la tabla 542.9 del PG-3 y de la Tabla 6 de la OC 1/2023.
- Para la categoría de tráfico pesado T42 y las tres tipologías de explanada también se han realizado los cálculos con un doble tratamiento superficial (DTS), como capa de rodadura, según estime el autor del proyecto, tal como se detalla en las tablas 3 a 5.
- Tanto para las mezclas bituminosas en caliente como semicalientes se ha considerado, como punto de partida, que no tienen incorporado RA y, a partir de ello, se han considerado diferentes porcentajes de RA y calculado sus efectos. Dichos porcentajes han sido del 10 % y del 15 % para todas ellas y, además, del 20 % para el caso de las AC.
- En el apéndice nº 2 se recogen las secciones de firmes de la Norma 6.11C fabricadas en caliente con distintas proporciones de RA y en el Apéndice nº 3 se recogen las mezclas semicalientes con distintas proporciones de RA.
- Una consideración que destacar es la relativa al beneficio ambiental de la reutilización de RA en las mezclas bituminosas, el cual se ha calculado mediante las emisiones de GEI evitadas debido al ahorro de áridos y de betún, menos las emisiones causadas por su tratamiento las cuales se han supuesto equivalentes a las de la etapa A3 de la DAP de áridos naturales.
- Se ha supuesto que el betún activable en el RA es de un 4,2 % sobre mezcla, y que sustituye a la correspondiente fracción de betún convencional de las mezclas tipo AC y la de betún modificado en las mezclas tipo BBTM.





### 3.3 DECLARACIONES AMBIENTALES EMPLEADAS

#### Aplicación de las declaraciones ambientales al presente documento

En el presente documento se ha podido calcular la huella de carbono de la mayor parte de los materiales utilizados en la formación de explanadas y para la construcción de secciones de firme recurriendo a declaraciones ambientales de producto (DAP): es el caso de los áridos para riegos con gravilla y capas granulares (suelos, zahorras), materiales tratados con cemento (suelocemento y gravacemento) y los diversos tipos de mezclas bituminosas (AC, BBTM, SMA y PA), por ejemplo. La mezcla tipo AUTL, como no dispone de DAP sectorial, se ha calculado explícitamente.

También se dispone de DAP de materiales básicos tales como cemento, betunes o emulsiones bituminosas todas ellas útiles para calcular la huella de carbono de suelos estabilizados, riegos bituminosos o riegos con gravilla.

En general, se trata de DAP sectoriales, de ámbito nacional y de reciente publicación, que pueden considerarse idóneas para los fines del presente estudio.

En el caso de betunes y emulsiones, sin embargo, se ha considerado preferible recurrir a las DAP desarrolladas recientemente por REPSOL, en la consideración de que sus ACV (Análisis de Ciclo de Vida) son más representativos de las condiciones del mercado nacional que los de la asociación europea EUROBITUME que también hizo públicos sus propios análisis.

En la **Tabla 1** se muestran las Declaraciones ambientales empleadas y las emisiones de GEI asociadas a la Etapa de producto (módulos A1+A2+A3) de diversos materiales utilizados para la formación de explanadas y para la construcción de secciones de firmes flexibles, semiflexibles, semirrígidas y rígidas según las declaraciones ambientales de producto (DAP) que se indican. Tal y como se ha señalado más arriba, en el caso de las mezclas bituminosas semicalientes se ha procedido a la estimación de su correspondiente huella de carbono mediante cálculos propios en los que se ha tenido en cuenta que en ellas se reduce la temperatura de fabricación.

Se han incluido también los datos de cementos, betunes y emulsión bituminosa, que serán usados en los cálculos auxiliares mostrados más adelante.

No se han encontrado DAP ni inventarios de ciclo de vida (ICV) de cales nacionales, por lo que los valores adoptados para estos conglomerantes proceden de los ICV utilizados en la herramienta francesa ecocomparadora SEVE y que corresponden a productores franceses si bien puede considerarse que serán muy similares a los que resultarían de productos fabricados en España.





**Tabla 1:** Emisiones de GEI de materiales para firmes (módulos A1+A2+A3)

Ud.	MATERIAL	kg CO <sub>2</sub> e	FUENTE
t	Mezcla bituminosa en caliente tipo BBTM servida, en central, i/ betún PMB	78,7	ASEFMA <sup>2</sup>
t	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC servida, en central, i/ betún	60,6	ASEFMA
t	Mezcla bituminosa en caliente tipo SMA servida, en central, i/ betún PMB	86,6	ASEFMA
t	Mezcla bituminosa en caliente tipo PA servida, en central, i/ betún PMB	70,2	ASEFMA
t	Mezcla bituminosa en caliente tipo AUTL servida en central i/betún PMB	79,2	Cálculos propios
t	Mezcla bituminosa semicaliente tipo BBTM servida, en central, i/ betún PMB	75,8	Cálculos propios
t	Mezcla bituminosa semicaliente tipo AC servida, en central, i/ betún	57,7	Cálculos propios
t	Zahorra elaborada con áridos naturales	4,48	ANEFA
t	Zahorra elaborada con áridos reciclados	5,02	ANEFA
t	Zahorra elaborada con áridos artificiales	3,69	ANEFA
t	Betún asfáltico convencional	272	REPSOL
t	Betún asfáltico modificado con polímeros	465	REPSOL
t	Betún asfáltico modificado con PNFVU	254	REPSOL
t	Emulsión bituminosa en riegos imprimación, curado o adherencia	227	REPSOL
t	Cemento CEM I	830	IECA
t	Cemento CEM II	682	IECA
t	Cemento CEM III	417	IECA
m <sup>3</sup>	Hormigón de clase resistente fck<30 MPa	215	ANEFHOP
m <sup>3</sup>	Hormigón de clase resistente fck≥30 MPa	263	ANEFHOP

La **Tabla 2** también ha sido obtenida de las declaraciones ambientales arriba indicadas, aunque ahora se trata de las emisiones de GEI correspondientes sólo a los módulos A1 (suministro de materias primas) o A3 (fabricación). Esta información ha servido para completar los cálculos de las emisiones asociadas a la formación de explanadas, a la construcción de capas tratadas y a la reutilización de material recuperado por fresado de firmes envejecidos (RA).

**Tabla 2:** Emisiones de GEI para los materiales y en los módulos indicados

Ud	MATERIAL	kg CO <sub>2</sub> e	FUENTE
t	Áridos naturales, solo extracción en frente de cantera o préstamo (A1)	0,65	ANEFA
t	Áridos naturales, solo producción (A3)	2,16	ANEFA
m <sup>3</sup>	Fabricación de hormigón en central (A3)	2,56	ANEFHOP

<sup>2</sup> ASEFMA ha incorporado a las cuatro Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) la etapa D "Beneficios y cargas más allá del sistema"





### 3.4 ESPEORES CONSIDERADOS PARA LAS CAPAS DE LAS SECCIONES DE FIRME

Partiendo de las combinaciones de categoría de tráfico pesado (T00 a T42) y de categoría de explanada (E1 a E3) contempladas en la 6.1 IC se han elaborado las Tablas 3 a 5 que se muestran más abajo:

- La Tabla 3 recoge, para los firmes flexibles y semiflexibles, los espesores considerados para las capas granulares y para las bituminosas.
- La Tabla 4 recoge, para los firmes con suelocemento, los espesores considerados para las capas tratadas con cemento y para las bituminosas.
- La Tabla 5 recoge, para los firmes con gravacemento, los espesores considerados para las capas tratadas con cemento y para las bituminosas.

En dichas tablas también se indican las dotaciones ( $\text{kg/m}^2$ ) de riegos bituminosos y de árido de cobertura consideradas.

No se ha incluido la tabla para los firmes rígidos por considerar que no es necesaria, ya que los espesores de todas sus capas están definidos en el propio catálogo de secciones de firme, así como el riego con productos filmógenos de curado o el uso de láminas de polietileno.

Dentro de las muchas posibilidades que ofrece la norma, para las hipótesis de cálculo se han tenido en cuenta las siguientes premisas:

- El espesor de las capas de rodadura (ROD) tipo BBTM es de 3 cm en todos los casos.
- El espesor de las capas de rodadura (ROD) tipo AC es el indicado en las Tablas 3 a 5, en las que también se puede encontrar cómo se ha distribuido el espesor de mezclas bituminosas restante entre las capas intermedia (INT) y de base (BB) respetando las prescripciones de la tabla 542.9 del PG-3 y de la Tabla 6 de la OC 1/2023.
- Para la categoría de tráfico pesado T42 y las tres tipologías de explanada también se ha considerado un doble tratamiento superficial (DTS) como capa de rodadura, según estime el autor del proyecto, tal como se detalla en las tablas 3 a 5.





**Tabla 3:** Espesores de las capas granulares y bituminosas, y dotaciones de riegos bituminosos considerados en los cálculos (firmes flexibles y semiflexibles)

SECCIÓN	BG	BB 1	BB 2	INT	ROD	CUR	IMP	ADH	ADC
Tráfico-Explanada	Espesor (cm)					Dotación (kg/m <sup>2</sup> )			
T00-E3	25	13	12	7	3	0,00	1,00	1,05	0,00
T0-E3	25	12	9	6	3	0,00	1,00	1,05	0,00
T1-E2	25	12	9	6	3	0,00	1,00	1,05	0,00
T1-E3	25		13	9	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T2-E1	40	11	8	6	3	0,00	1,00	1,05	0,00
T2-E2	25		13	9	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T2-E3	20		11	6	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T31-E1	40		11	6	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T31-E2	40		7	6	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T31-E3	25		7	6	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T32-E1	40		9	6	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T32-E2	35		6	6	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T32-E3	20		6	6	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T41-E1	20			6	4	0,00	1,00	0,35	0,00
T41-E2	40			6	4	0,00	1,00	0,35	0,00
T41-E3	30			6	4	0,00	1,00	0,35	0,00
T42-E1	20				5	0,00	1,00	0,00	0,00
T42-E2	35				5	0,00	1,00	0,00	0,00
T42-E3	25				5	0,00	1,00	0,00	0,00
T42-E1 *	20				DTS	0,00	1,00	0,00	0,00
T42-E2 *	35				DTS	0,00	1,00	0,00	0,00
T42-E3 *	25				DTS	0,00	1,00	0,00	0,00

**BG:** Base o subbase granular

**BB:** Base bituminosa

**INT:** Capa intermedia

**ROD:** Capa de rodadura

**CUR:** Riego de curado

**IMP:** Riego de imprimación

**ADH:** Riego de adherencia

**ADC:** Árido de cubrición

**Nota:** Rodadura con mezcla tipo BBTM para tráfico T00 a T32 y AC en T41 y T42, excepto cuando la rodadura está constituida por un doble tratamiento superficial (DTS). (Las correspondientes filas están marcadas en la tabla mediante un asterisco).



**Tabla 4:** Espesores de las capas tratadas con cemento y bituminosas, dotaciones de riegos bituminosos y árido de cubrición considerados en los cálculos (firmes con suelocemento).

SECCIÓN	SC	GC	BB	INT	ROD	CUR	IMP	ADH	ADC
Tráfico–Explanada	Espesor (cm)					Dotación (kg/m <sup>2</sup> )			
T00-E3	30		13	9	3	0,00	1,00	1,05	0,00
T0-E3	25		11	6	3	0,00	1,00	1,05	0,00
T1-E2	25		11	6	3	0,00	1,00	1,05	0,00
T1-E3	20		11	6	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T2-E1	30		9	6	3	0,00	1,00	1,05	0,00
T2-E2	22		9	6	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T2-E3	20		6	6	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T31-E1	30		6	6	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T31-E2	30			9	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T31-E3	22			9	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T32-E1	30			9	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T32-E2	30			7	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T32-E3	22			7	3	0,00	1,00	0,70	0,00
T41-E1	30			7	4	0,00	1,00	0,35	0,00
T41-E2	25			7	4	0,00	1,00	0,35	0,00
T41-E3	20			7	4	0,00	1,00	0,35	0,00
T42-E1	25				5	0,00	1,00	0,00	0,00
T42-E2	22				5	0,00	1,00	0,00	0,00
T42-E3	20				5	0,00	1,00	0,00	0,00
T42-E1 *	25				DTS	0,00	1,00	0,00	0,00
T42-E2 *	22				DTS	0,00	1,00	0,00	0,00
T42-E3 *	20				DTS	0,00	1,00	0,00	0,00

**Nota:** rodadura con mezcla tipo BBTM para tráfico T00 a T32 y AC en T41 y T42, excepto cuando la rodadura está constituida por un doble tratamiento superficial (DTS).

**Tabla 5:** Espesores de las capas tratadas con cemento y bituminosas, y dotaciones de riegos bituminosos y árido de cubrición considerados en los cálculos (firmes con gravacemento).

SECCIÓN	SC	GC	BB	INT	ROD	CUR	IMP	ADH	ADC
Tráfico–Explanada	Espesor (cm)					Dotación (kg/m <sup>2</sup> )			
T00-E3	25	22	11	6	3	1,00	0,00	0,70	0,00
T0-E3	20	22	6	6	3	1,00	0,00	0,70	0,00
T1-E2	22	22	6	6	3	1,00	0,00	0,70	0,00
T2-E2	20	20	6	6	3	1,00	0,00	0,70	0,00

**SC:** Suelo cemento

**GC:** Grava cemento

**BB:** Base bituminosa

**INT:** Capa intermedia

**ROD:** Capa de rodadura

**CUR:** Riego de curado

**IMP:** Riego de imprimación

**ADH:** Riego de adherencia

**ADC:** Árido de cubrición





#### 4 RESULTADOS DEL ACV DE LA FORMACIÓN DE EXPLANADAS

Partiendo de los datos arriba expuestos y de los espesores de las capas que conforman las diferentes soluciones para la formación de explanadas que se contempla en la Norma 6.1 IC se ha procedido a los cálculos para la obtención de los correspondientes “Factores de Emisión” ( $FE_{exp}$ ).

En la **Tabla 6** se presentan los resultados obtenidos para las 30 opciones de formación de explanada contempladas en la Figura 1 “Formación de la explanada” de la Norma 6.1 IC.

Para una fácil correlación de ambas, la presentación de los resultados de la Tabla 6 tiene el mismo orden de ubicación que el de las correspondientes secciones de la Figura 1 de la 6.1 IC (reproducida como Figura 2 en este documento).

**Tabla 6:** Factores de emisión  $FE_{exp}$  de la formación de explanadas (kg  $CO_2e/m^2$ )

##### RESULTADOS

	IN			S0		S1		S2 y S3		R	
E1	3,16	11,54	2,39	1,90	1,46						T4
	19,81	11,80	3,35	8,41							
E2	3,24	11,49	2,72	2,43	20,30	1,78	8,28				T4 a T2
	19,81	16,62	3,83	2,88	9,09	1,14					
E3	31,06	16,13		15,48	16,09	14,51		14,51	0,00		Todas
	16,88										

**IN:** Suelos inadecuados y marginales

**S0:** Suelos tolerables

**S1:** Suelos adecuados

**S2:** Suelos seleccionados

**S3:** Suelos seleccionados con  $CBR \geq 20$

**R:** Roca



## 5 RESULTADOS DEL ACV DE LAS SECCIONES DE FIRME DE LA NORMA 6.1 IC CONSIDERANDO QUE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS SON SIEMPRE EN CALIENTE

### 5.1 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE SIN INCORPORACIÓN DE ASFALTO RECUPERADO (RA)

En la **Tabla 7** del presente documento se presentan los resultados de los Factores de Emisión ( $FE_{fir}$ ) obtenidos para las sesenta y una (61) secciones de firme contempladas en la Norma 6.1 IC, considerando, para aquellas que incluyen mezclas bituminosas, que estas son siempre en caliente y que no incorporan asfalto recuperado (RA) alguno, reflejando así lo que ha sido la situación normal hasta hace relativamente poco tiempo y sirviendo de plano de comparación con los resultados, que más abajo se presentan, de consideraciones más acordes con la actuales tendencias favorables a la disminución de emisiones de GEI y consistentes en incorporar asfalto recuperado (RA) o/y mezclas bituminosas semicalientes.

Dichos resultados se presentan desagregados en las subtablas 7.1 (Firmes flexibles y semiflexibles), 7.2 (Firmes semirrígidos con suelocemento), 7.3 (Firmes semirrígidos con suelocemento y gravacemento) y 7.4 (Firmes rígidos).

**Tabla 7:** Factores de emisión  $FE_{fir}$  de las secciones de firme (kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>)  
MEZCLAS BITUMINOSAS SIN RA

**Subtabla 7.1**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes flexibles y semiflexibles

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42	T42*3
E1				55,05	41,40	22,76	23,43	14,09	6,81
E2			56,14	47,57	34,62	21,99	21,89	12,56	5,28
E3	64,61	56,14	47,57	38,33	20,45	19,69	20,36	11,79	4,51

**Subtabla 7.2**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes semirrígidos con suelocemento

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42	T42*
E1				49,32	44,14	39,06	36,34	23,18	15,90
E2			49,82	44,60	39,06	35,67	33,45	21,45	14,17
E3	61,18	49,82	46,83	38,36	34,43	31,04	30,55	20,29	13,01

<sup>3</sup> La categoría T42 con asterisco se corresponde a la que dispone de un doble tratamiento superficial como capa de rodadura.





**Subtabla 7.3**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes semirrígidos con suelocemento y gravacemento

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42	T42*
E1									
E2			69,86	32,27					
E3	78,80	69,56							

**Subtabla 7.4**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes rígidos

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42
E1				111,83	71,11	69,57	66,41	60,07
E2			115,09	108,76	70,34	69,57	63,34	57,01
E3	126,21	122,60	115,09	108,76	69,57	66,51	63,34	57,01

En la **(Subtabla 7.4)**: Se ha considerado pavimento continuo de hormigón armado en las categorías de tráfico pesado T00 y T0, y de hormigón en masa en el resto.

## 6 RESULTADOS DEL ACV DE LAS SECCIONES DE FIRME DE LA NORMA 6.1 IC CONSIDERANDO QUE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS SON SIEMPRE SEMICALIENTES

### 6.1 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A MEZCLAS BITUMINOSAS SEMICALIENTES SIN INCORPORACIÓN DE ASFALTO RECUPERADO (RA)

En la **Tabla 8** del presente documento, y de manera análoga a la Tabla 7, se presentan los resultados de los Factores de Emisión ( $FE_{fir}$ ) obtenidos para las sesenta y una (61) secciones de firme contempladas en la Norma 6.1 IC, considerando, para aquellas que incluyen mezclas bituminosas, que estas son, ahora, siempre semicalientes y que no incorporan asfalto recuperado (RA) alguno.

Dichos resultados se presentan desagregados en las subtablas 8.1 (Firmes flexibles y semiflexibles), 8.2 (Firmes semirrígidos con suelocemento), 8.3 (Firmes semirrígidos con suelocemento y gravacemento) y 8.4 (Firmes rígidos).



**Tabla 8:** Factores de Emisión FE<sub>fir</sub> de las secciones de firmes (kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>)  
MEZCLAS BITUMINOSAS SEMICALIENTES SIN RA

**Subtabla 8.1** FE<sub>fir</sub> de secciones de firmes flexibles y semiflexibles

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42
E1				53,13	40,03	22,15	22,73	13,75
E2			54,08	45,86	33,53	21,38	21,20	12,21
E3			45,86	36,96	19,85	19,08	19,67	11,44

**Subtabla 8.2** FE<sub>fir</sub> de secciones de firmes semirrígidos con suelocemento

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42
E1				48,09	43,12	38,24	35,58	22,84
E2			48,45	43,37	38,24	34,99	32,68	21,10
E3			45,46	37,33	33,61	30,36	29,79	19,95

**Subtabla 8.3** FE<sub>fir</sub> de secciones de firmes semirrígidos con suelocemento y gravacemento

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42	T42*
E1									
E2			67,32	31,25					
E3									

**Nota (Subtabla 8.4):** Se ha considerado pavimento continuo de hormigón armado en las categorías de tráfico pesado T00 y T0, y de hormigón en masa en el resto.





## 7 APÉNDICE Nº 1: EJEMPLOS DE JUSTIFICACIÓN DE LAS EMISIONES CORRESPONDIENTES A ALGUNAS DE LAS UNIDADES DE OBRA CONTEMPLADAS EN LAS ETAPAS A1 – A5

NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	EMISIONES GEI			
P-1	542.0010 a 542.0120	t	MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE TIPO AC, Rend: EXTENDIDA Y COMPACTADA, INCLUSO BETÚN Y POLVO MINERAL DE APORTACIÓN	1,000	69,10		kg CO <sub>2</sub> e
				Unidades	E. unitarias	Parcial	Total
Maquinaria							
	Q050102A01	h	Compactador de ruedas múltiples, autopropulsado, de 7 ruedas, 21 t lastrado	0,0129	/R x 23,17	=	0,30
	Q050205B01	h	Compactador vibrante autopropulsado, de dos cilindros, tandem, de 10 t de masa	0,0129	/R x 21,98	=	0,28
	Q090401A01	h	Extendidora asfáltica sobre cadenas, de 125 kW de potencia con regla doble tãmpen hasta 7,5 m	0,0129	/R x 38,99	=	0,50
	Q060206A01	h	Camión con caja basculante 8x4, de 323 kW de potencia	0,0972	/R x 77,08	=	7,49
	Q040101C02	h	Silo de transferencia móvil autopropulsado para extendido de mezcla bituminosa en caliente	0,0129	/R x 111,47	=	1,44
				Subtotal			10,02
Materiales							
		t	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC22 BIN S, servida en central, incluso betún y polvo mineral de aportación	1,0000	/R x 60,60	=	60,60
				Subtotal			60,60
			<b>EMISIONES TOTALES</b>				<b>70,62</b>





NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	EMISIONES GEI			
P-2	543.0050 543.0060 543.0070	m <sup>2</sup>	MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE TIPO BBTM, Rend: EXTENDIDA Y COMPACTADA, INCLUSO BETÚN Y POLVO MINERAL DE APORTACIÓN	1,000		6,13	kg CO <sub>2e</sub>
				Unidades	E. unitarias	Parcial	Total
<b>Maquinaria</b>							
	Q050102A01	h	Compactador de ruedas múltiples, autopropulsado, de 7 ruedas, 21 t lastrado	0,0009	/R x	23,17 =	0,02
	Q050205B01	h	Compactador vibrante autopropulsado, de dos cilindros, tándem, de 10 t de masa	0,0009	/R x	21,98 =	0,02
	Q090401A01	h	Extendidora asfáltica sobre cadenas, de 125 kW de potencia con regla doble támpen hasta 7,5 m	0,0009	/R x	38,99 =	0,04
	Q060206A01	h	Camión con caja basculante 8x4, de 323 kW de potencia	0,0072	/R x	77,08 =	0,55
	Q040101C02	h	Silo de transferencia móvil autopropulsado para extendido de mezcla bituminosa en caliente	0,0009	/R x	111,47 =	0,10
				Subtotal		0,73	10,43
<b>Materiales</b>							
		t	Mezcla bituminosa en caliente tipo BBTM, servida en central, incluso betún y polvo mineral de aportación	0,0700	/R x	78,70 =	5,51
				Subtotal		5,51	78,71
<b>EMISIONES TOTALES POR UNIDAD DE MASA (t)</b>							<b>89,14</b>

FIRMADO por : JUAN PEDRO FERNANDEZ PALOMINO. A fecha: 15/11/2024 10:35 AM  
 DIRECTOR GENERAL DE CARRETERAS  
 Total folios: 49 (32 de 49) - Código Seguro de Verificación: MF0M02SEFD787F440F577614F244. Verificable en <https://sede.mitma.gob.es>





NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	EMISIONES GEI			
P-5	510.0010	m <sup>3</sup>	ZAHORRA i/ TRANSPORTE, EXTENSIÓN Y Rend: 1,000 COMPACTACIÓN, ELABORADA CON ÁRIDOS NATURALES			15,34	kg CO <sub>2</sub> e
				Unidades	E. unitarias	Parcial	Total
<b>Maquinaria</b>							
	Q060202A01	h	Camión con caja basculante 4x4, de 199 kW de potencia	0,072	/R x 53,82	= 3,88	
	Q090100A2	h	Extendedora automotriz de áridos con sistema automático de nivelación y tolva de descarga	0,012	/R x 38,99	= 0,47	
	Q050205C01	h	Compactador vibrante autopulsado, de un cilindro, liso, de 16 t de masa.	0,012	/R x 44,56	= 0,53	
	Q090401A01	h	Camión cisterna para riegos, para una cantidad de 8.000 l.	0,012	/R x 50,84	= 0,61	
				Subtotal		5,48	5,48
<b>Materiales</b>							
		t	Zahorra elaborada con áridos naturales	2,200	/R x 4,48	= 9,86	
		t	Agua	0,200	/R x 0,00	= 0,00	
				Subtotal		9,86	9,86
				<b>EMISIONES TOTALES</b>			<b>15,34</b>





NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	EMISIONES GEI			
P-6	513.0020	m <sup>3</sup>	GRAVA CEMENTO FABRICADA EN CENTRAL i/ REND: CEMENTO, TRANSPORTE, EXTENDIDO Y COMPACTACIÓN, Y PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE ASIENTO, SIN INCLUIR RIEGO DE CURADO	1,000		77,66	kg CO <sub>2</sub> e
				Unidades	E. unitarias	Parcial	Total
<b>Maquinaria</b>							
	Q090000A01		Central de grava cemento y suelo cemento de 160 t/h de producción			2,56	
	Q060202A01	h	Camión con caja basculante 4x4, de 199 kW de potencia	0,054	/R x	53,82 =	2,91
	Q090401A01	h	Camión cisterna para riegos, para una cantidad de 8.000 l.	0,018	/R x	50,84 =	0,92
	Q090100A2	h	Extendidora automotriz de áridos con sistema automático de nivelación y tolva de descarga	0,040	/R x	38,99 =	1,56
	Q050202B01	h	Compactador vibrante autopropulsado, de un cilindro, liso, de 12 t de masa.	0,018	/R x	30,01 =	0,54
	Q090100A2	h	Tractor automotriz de prefisuración en fresco o in situ	0,050	/R x	21,09 =	1,05
	Q040404A1	h	Cargadora sobre ruedas de 60 KW de potencia (1 m <sup>3</sup> )	0,018	/R x	29,74 =	0,54
				Subtotal		10,07	10,07
<b>Materiales</b>							
		t	Zahorra elaborada con áridos naturales	2,300	/R x	4,48 =	10,30
		t	Agua	0,200	/R x	0,00 =	0,00
		t	Cemento CEM II, al 3,5%	0,084	/R x	682,00 =	57,29
				Subtotal		67,59	67,59
				<b>EMISIONES TOTALES</b>		<b>77,66</b>	





NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	EMISIONES GEI			
P-7	513.0020	m <sup>3</sup>	SUELO-CEMENTO FABRICADO EN CENTRAL i/ TRANSPORTE, EXTENDIDO, COMPACTACIÓN, PREFISURACIÓN Y PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE ASIENTO, SIN INCLUIR RIEGO DE CURADO. EMPLEANDO MATERIAL GRANULAR PROCEDENTE PRÉSTAMO	Rend:	1,000	57,85	kg CO <sub>2e</sub>
				Unidades	E. unitarias	Parcial	Total
<b>Maquinaria</b>							
	Q090000A01		Central de grava cemento y suelo cemento de 160 t/h de producción			2,56	
	Q060202A01	h	Camión con caja basculante 4x4, de 199 kW de potencia	0,064	/R x 53,82 =	3,44	
	Q090401A01	h	Camión cisterna para riegos, para una cantidad de 8.000 l.	0,016	/R x 50,84 =	0,81	
	Q090100A2	h	Extendidora automotriz de áridos con sistema automático de nivelación y tolva de descarga	0,032	/R x 38,99 =	1,25	
	Q050202B01	h	Compactador vibrante autopulsado, de un cilindro, liso, de 12 t de masa.	0,016	/R x 30,01 =	0,48	
	Q090100A2	h	Tractor automotriz de prefisuración en fresco o in situ	0,016	/R x 21,09 =	0,34	
	Q040404A1	h	Cargadora sobre ruedas de 60 KW de potencia (1 m <sup>3</sup> )	0,016	/R x 29,74 =	0,48	
				Subtotal		9,36	9,36
<b>Materiales</b>							
		t	Suelo granular procedente de préstamo	2,200	/R x 0,65 =	1,43	
		t	Agua	0,200	/R x 0,00 =	0,00	
		t	Cemento CEM II, al 3,0%	0,069	/R x 682,00 =	47,06	
				Subtotal		48,49	57,85
				<b>EMISIONES TOTALES</b>		<b>57,85</b>	





NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	EMISIONES GEI			
P-8	3300.0040	m <sup>3</sup>	SUELO TOLERABLE O ADECUADO PROCEDENTE DE PRÉSTAMO PARA FORMACIÓN DE EXPLANADA i/ CANON DE PRÉSTAMO, EXCAVACIÓN DEL MATERIAL, CARGA Y TRANSPORTE AL LUGAR DE EMPLEO HASTA UNA DISTANCIA DE 5 km, EXTENDIDO, HUMECTACIÓN, COMPACTACIÓN.	Rend:	1,000	3,16	kg CO <sub>2e</sub>
				Unidades	E. unitarias	Parcial	Total
<b>Maquinaria</b>							
	Q060202A01	h	Camión con caja basculante 6x6, de 258 kW de potencia	0,0240	/R x 61,57	= 1,48	
	Q040601B01	h	Motoniveladora de 104 kWh de potencia	0,0080	/R x 30,90	= 0,25	
	Q050205C01	h	Compactador vibrante autopulsado, de un cilindro, liso, de 16 t de masa.	0,0080	/R x 44,56	= 0,36	
	Q040005C01	h	Excavadora hidráulica sobre cadenas de 45 t de masa	0,0040	/R x 91,50	= 0,37	
	Q090401A01	h	Camión cisterna para riegos, para una cantidad de 8.000 l.	0,0013	/R x 50,84	= 0,07	
				Subtotal		2,51	2,51
<b>Materiales</b>							
		m <sup>3</sup>	Suelo granular procedente de préstamo	1,000	/R x 0,65	= 0,65	
		m <sup>3</sup>	Agua	0,250	/R x 0,00	= 0,00	
				Subtotal		0,65	0,65
<b>EMISIONES TOTALES</b>							<b>3,16</b>





NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	EMISIONES GEI			
P-9	330.0050	m <sup>3</sup>	SUELO SELECCIONADO PROCEDENTE DE PRÉSTAMO PARA FORMACIÓN DE EXPLANADA i/ CANON DE PRÉSTAMO, EXCAVACIÓN DEL MATERIAL, CARGA Y TRANSPORTE AL LUGAR DE EMPLEO HASTA UNA DISTANCIA DE 5 km, EXTENDIDO, HUMECTACIÓN, COMPACTACIÓN.	Rend:	1,000	3,24	kg CO <sub>2e</sub>
				Unidades	E. unitarias	Parcial	Total
<b>Maquinaria</b>							
	Q060202A01	h	Camión con caja basculante 6x6, de 258 kW de potencia	0,0240	/R x 61,57	= 1,48	
	Q040601B01	h	Motoniveladora de 104 kWh de potencia	0,0090	/R x 30,90	= 0,28	
	Q050205C01	h	Compactador vibrante autopulsado, de un cilindro, liso, de 16 t de masa.	0,0090	/R x 44,56	= 0,40	
	Q040005C01	h	Excavadora hidráulica sobre cadenas de 45 t de masa	0,0040	/R x 91,50	= 0,37	
	Q090401A01	h	Camión cisterna para riegos, para una cantidad de 8.000 l.	0,0014	/R x 50,84	= 0,07	
				Subtotal		2,59	2,59
<b>Materiales</b>							
		m <sup>3</sup>	Suelo granular procedente de préstamo	1,000	/R x 0,65	= 0,65	
		m <sup>3</sup>	Agua	0,250	/R x 0,00	= 0,00	
				Subtotal		0,65	0,65
				<b>EMISIONES TOTALES</b>			<b>3,24</b>





NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	EMISIONES GEI			
P-10	512.01201	m <sup>3</sup>	SUELO ESTABILIZADO "IN SITU" CON CEMENTO TIPO S-EST1 CON TIERRAS DE LA PROPIA OBRA, FORMACIÓN DE LA EXPLANADA, EXTENDIDO Y COMPACTADO, HUMECTACIÓN O SECADO Y PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE ASIENTO, TOTALMENTE TERMINADO.	Rend:	1,000	32,57	kg CO <sub>2e</sub>
				Unidades	E. unitarias	Parcial	Total
<b>Maquinaria</b>							
	Q040601B01	h	Motoniveladora de 121 kWh de potencia	0,014	/R x 44,93	= 0,63	
	Q050205C01	h	Compactador vibrante autopulsado, de un cilindro, liso, de 16 t de masa.	0,014	/R x 44,56	= 0,62	
	Q090002A01	h	Estabilizadora de suelos autopulsada, para anchura de 2,50 m de 370 kW de potencia (25 t)	0,007	/R x 164,88	= 1,15	
	Q090401A01	h	Camión cisterna para riegos, para una cantidad de 8.000 l.	0,003	/R x 50,84	= 0,15	
				Subtotal		2,56	2,56
<b>Materiales</b>							
		t	Cemento, tipo CEM II 2% en peso s/2,2 t/m <sup>3</sup>	0,044	/R x 682,00	= 30,01	
		m <sup>3</sup>	Agua	0,050	/R x 0,00	= 0,00	
				Subtotal		30,01	30,01
				<b>EMISIONES TOTALES</b>			<b>32,57</b>

FIRMADO por : JUAN PEDRO FERNANDEZ PALOMINO. A fecha: 15/11/2024 10:35 AM  
 DIRECTOR GENERAL DE CARRETERAS  
 Total folios: 49 (38 de 49) - Código Seguro de Verificación: MFOM02SEFD787F440F577614F244. Verificable en <https://sede.mitma.gob.es>





NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	EMISIONES GEI			
P-11	512.01202	m <sup>3</sup>	SUELO ESTABILIZADO "IN SITU" CON Rend: 1,000 CEMENTO TIPO S-EST2 CON TIERRAS DE LA PROPIA OBRA, FORMACIÓN DE LA EXPLANADA, EXTENDIDO Y COMPACTADO, HUMECTACIÓN O SECADO Y PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE ASIENTO, TOTALMENTE TERMINADO.	47,57			kg CO <sub>2e</sub>
				Unidades	E. unitarias	Parcial	Total
<b>Maquinaria</b>							
	Q040601B01	h	Motoniveladora de 121 kWh de potencia	0,014	/R x 44,93	= 0,63	
	Q050205C01	h	Compactador vibrante autopulsado, de un cilindro, liso, de 16 t de masa.	0,014	/R x 44,56	= 0,62	
	Q090002A01	h	Estabilizadora de suelos autopulsada, para anchura de 2,50 m de 370 kW de potencia (25 t)	0,007	/R x 164,88	= 1,15	
	Q090401A01	h	Camión cisterna para riegos, para una cantidad de 8.000 l.	0,003	/R x 50,84	= 0,15	
				Subtotal		2,56	2,56
<b>Materiales</b>							
		t	Cemento, tipo CEM II 3% en peso s/2,2 t/m <sup>3</sup>	0,066	/R x 682,00	= 45,01	
		m <sup>3</sup>	Agua	0,050	/R x 0,00	= 0,00	
				Subtotal		45,01	45,01
				<b>EMISIONES TOTALES</b>			<b>47,57</b>





NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	EMISIONES GEI			
P-12	512.0110	m <sup>3</sup>	SUELO ESTABILIZADO "IN SITU" CON CEMENTO TIPO S-EST3 CON TIERRAS DE LA PROPIA OBRA, FORMACIÓN DE LA EXPLANADA, EXTENDIDO Y COMPACTADO, HUMECTACIÓN O SECADO Y PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE ASIENTO, TOTALMENTE TERMINADO.	Rend:	1,000	47,92	kg CO <sub>2e</sub>
				Unidades	E. unitarias	Parcial	Total
<b>Maquinaria</b>							
	Q040601B01	h	Motoniveladora de 121 kWh de potencia	0,008	/R x 44,93	= 0,36	
	Q050205C01	h	Compactador vibrante autopropulsado, de un cilindro, liso, de 16 t de masa.	0,016	/R x 44,56	= 0,71	
	Q090002A01	h	Estabilizadora de suelos autopropulsada, para anchura de 2,50 m de 370 kW de potencia (25 t)	0,008	/R x 164,88	= 1,32	
	Q040601B01	h	Motoniveladora con sistema de guiado 3D	0,008	/R x 44,93	= 0,36	
	Q090401A01	h	Camión cisterna para riegos, para una cantidad de 8.000 l.	0,003	/R x 50,84	= 0,15	
				Subtotal		2,91	2,91
<b>Materiales</b>							
		t	Cemento, tipo CEM II 3% en peso s/2,2 t/m <sup>3</sup>	0,066	/R x 682,00	= 45,01	
		m <sup>3</sup>	Agua	0,050	/R x 0,00	= 0,00	
				Subtotal		45,01	45,01
				<b>EMISIONES TOTALES</b>		<b>47,92</b>	





NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	EMISIONES GEI			
P-13	531.00201	t	EMULSIÓN C60 B3 CUR EN RIEGOS DE CURADO i/BARRIDO Y LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE TOTALMENTE TERMINADO	Rend:	1,000	266,24	kg CO <sub>2e</sub>
				Unidades	E. unitarias	Parcial	Total
Maquinaria							
	Q050102A01	h	Camión cisterna para riego, con rampa para una cantidad de 10.000 litros	0,480	/R x 53,82	=	25,83
	Q100003A05	h	Barredora y aspirador de polvo autotrop. 9 m <sup>3</sup>	0,240	/R x 55,85	=	13,40
				Subtotal			39,24
Materiales							
		t	Emulsión bituminosa tipo C60 B3 CUR	1,0000	/R x 227,00	=	227,00
				Subtotal			227,00
<b>EMISIONES TOTALES</b>							<b>266,24</b>

NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	EMISIONES GEI			
P-14	530.0020	t	EMULSIÓN C50 BF4 IMP EN RIEGO DE IMPRIMACIÓN i/ BARRIDO Y LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE TOTALMENTE TERMINADO	Rend:	1,000	266,24	kg CO <sub>2e</sub>
				Unidades	E. unitarias	Parcial	Total
Maquinaria							
	Q050102A01	h	Camión cisterna para riego, con rampa para una cantidad de 10.000 litros	0,240	/R x 53,82	=	12,92
	Q100003A05	h	Barredora y aspirador de polvo autotrop. 9 m <sup>3</sup>	0,120	/R x 55,85	=	6,70
				Subtotal			19,62
Materiales							
		t	Emulsión bituminosa tipo C60 B3 CUR	1,0000	/R x 227,00	=	227,00
				Subtotal			227,00
<b>EMISIONES TOTALES</b>							<b>246,62</b>





NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	EMISIONES GEI			
P-15	531.00201	t	EMULSIÓN C60 B3 ADH EN RIEGOS DE ADHERENCIA i/ BARRIDO Y LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE TOTALMENTE TERMINADO	Rend:	1,000	266,24	kg CO <sub>2</sub> e
				Unidades	E. unitarias	Parcial	Total
<b>Maquinaria</b>							
	Q050102A01	h	Camión cisterna para riego, con rampa para una cantidad de 10.000 litros	0,480	/R x 53,82	= 25,83	
	Q100003A05	h	Barredora y aspirador de polvo autotrop. 9 m <sup>3</sup>	0,240	/R x 55,85	= 13,40	
				Subtotal		39,24	39,24
<b>Materiales</b>							
		t	Emulsión bituminosa tipo C60 B3 ADH	1,0000	/R x 227,00	= 227,00	227,00
				Subtotal		227,00	
<b>EMISIONES TOTALES</b>							<b>266,24</b>

FIRMADO por : JUAN PEDRO FERNANDEZ PALOMINO. A fecha: 15/11/2024 10:35 AM  
 DIRECTOR GENERAL DE CARRETERAS  
 Total folios: 49 (42 de 49) - Código Seguro de Verificación: MF0M02SEFD787F440F577614F244. Verificable en <https://sede.mitma.gob.es>





## 8 APÉNDICE Nº 2: CÁLCULO DE LAS SECCIONES DE FIRME CON MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE Y EL EMPLEO DE MATERIAL FRESADO

### RESULTADOS CORRESPONDIENTES A MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE CON UN 10 % DE ASFALTO RECUPERADO (RA) EN LA CAPA DE RODADURA Y UN 15 % EN EL RESTO DE LAS CAPAS BITUMINOSAS

En la **Tabla 9** del presente documento se presentan los resultados de los Factores de Emisión obtenidos para aquellas secciones de firme contempladas en la Norma 6.1 IC que incluyen alguna capa, o capas, de mezcla bituminosa, siempre en caliente, salvo para la categoría T42\* que contiene un doble tratamiento superficial, pero considerando ahora que tiene incorporado un 10 % de asfalto recuperado (RA) en el caso de la capa de rodadura y un 15 % en el resto de capas bituminosas.

Dichos resultados quedan desagregados en las subtablas 9.1 (Firmes flexibles y semiflexibles), 9.2 (Firmes semirrígidos, con suelocemento) y 9.3 (Firmes semirrígidos, con suelocemento y gravacemento).

**Tabla 9:** Factores de emisión  $FE_{fir}$  de las secciones de firme ( $kg\ CO_2e/m^2$ ) MEZCLAS BITUMINOSAS PARA CAPA DE RODADURA CON 10% DE RA Y EL RESTO 15%

**Subtabla 9.1**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes flexibles y semiflexibles

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42	T42*
E1				53,71	40,44	22,32	23,01	13,93	6,81
E2			54,70	46,37	33,85	21,56	21,48	12,40	5,28
E3	62,94	54,70	46,37	37,37	20,02	19,26	19,94	11,63	4,51

**Subtabla 9.2**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes semirrígidos con suelocemento

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42	T42*
E1				48,46	43,42	38,48	35,88	23,02	15,90
E2			48,86	43,74	38,48	35,19	32,98	21,29	14,17
E3	59,99	48,86	45,87	37,64	33,86	30,56	30,09	20,13	13,01



**Subtabla 9.3**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes semirrígidos con suelocemento y gravacemento

	T00	T0	T1	T2		T31	T32	T41	T42	T42*
E1										
E2			68,09	31,55						
E3	76,79	67,79								

### RESULTADOS CORRESPONDIENTES A MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE CON UN 15 % DE ASFALTO RECUPERADO (RA) EN LA CAPA DE RODADURA Y UN 20 % EN EL RESTO DE LAS CAPAS BITUMINOSAS

De manera análoga a la anterior, en la **Tabla 10** del presente documento se presentan los resultados de los Factores de Emisión obtenidos para aquellas secciones de firme contempladas en la Norma 6.1 IC, considerando ahora que las mezclas bituminosas, todas ellas en caliente, tienen incorporadas un 15 % de asfalto recuperado (RA) en la capa de rodadura y un 20 % en el resto de las capas bituminosas.

Igualmente, los resultados se presentan aquí desagregados en las subtablas 10.1 (Firmes flexibles y semiflexibles), 10.2 (Firmes semirrígidos, con suelocemento) y 10.3 (Firmes semirrígidos, con suelocemento y gravacemento).

**Tabla 10:** Factores de emisión  $FE_{fir}$  de las secciones de firmes (kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>) MEZCLAS BITUMINOSAS PARA CAPA DE RODADURA CON 15 % DE RA, Y EL RESTO 20 %

**Subtabla 10.1**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes flexibles y semiflexibles

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42	T42*
E1				53,24	40,10	22,16	22,85	13,85	6,81
E2			54,20	45,95	33,57	21,39	21,32	12,32	5,28
E3	62,35	54,20	45,95	37,03	19,86	19,09	19,78	11,55	4,51





**Subtabla 10.2**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes semirrígidos con suelocemento

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42	T42*
E1				48,15	43,16	37,41	35,70	22,94	15,90
E2			48,52	43,43	38,27	34,15	32,81	21,21	14,17
E3	59,56	48,52	45,53	37,38	32,78	29,52	29,91	20,05	13,01

**Subtabla 10.3**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes semirrígidos con suelocemento y gravacemento

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42	T42*
E1									
E2			67,48	31,29					
E3	76,09	67,17							



## 9 APÉNDICE Nº 3: CÁLCULO DE LAS SECCIONES DE FIRMES CON MEZCLAS BITUMINOSAS SEMICALIENTES Y EL EMPLEO DE MATERIAL FRESADO

### RESULTADOS CORRESPONDIENTES A MEZCLAS BITUMINOSAS SEMICALIENTES CON UN 10 % DE ASFALTO RECUPERADO (RA) EN LA CAPA DE RODADURA Y UN 15 % EN EL RESTO DE LAS CAPAS BITUMINOSAS

En la **Tabla 11** del presente documento se presentan los resultados de los Factores de Emisión obtenidos para aquellas secciones de firme contempladas en la Norma 6.1 IC que incluyen alguna capa, o capas, de mezcla bituminosa, siempre semicaliente, pero considerando ahora que tiene incorporado un 10 % de asfalto recuperado (RA) en el caso de la capa de rodadura y un 15 % en el resto de las capas bituminosas.

Dichos resultados quedan desagregados en las subtablas 11.1 (Firmes flexibles y semiflexibles), 11.2 (Firmes semirrígidos con suelocemento) y 11.3 (Firmes semirrígidos con suelocemento y gravacemento).

**Tabla 11:** Huella de carbono de las secciones de firmes (kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>)  
MEZCLAS BITUMINOSAS SEMICALIENTES PARA CAPA DE RODADURA CON 10% DE RA, RESTO 15%

**Subtabla 11.1** FE<sub>fir</sub> de secciones de firmes flexibles y semiflexibles

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42
E1				51,79	39,07	21,72	22,32	13,59
E2			52,64	44,66	32,76	20,95	20,78	12,05
E3			44,66	36,00	19,41	18,65	19,25	11,28

**Subtabla 11.2** FE<sub>fir</sub> de secciones de firmes semirrígidos con suelocemento

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42
E1				47,23	42,40	37,67	35,12	22,68
E2			47,49	42,51	37,67	34,51	32,22	20,94
E3			44,50	36,62	33,04	29,88	29,33	19,79





**Subtabla 11.3**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes semirrígidos con suelocemento y gravacemento

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42	T42*
E1									
E2			65,55	30,53					
E3									

**RESULTADOS CORRESPONDIENTES A MEZCLAS BITUMINOSAS SEMICALIENTES CON UN 15 % DE ASFALTO RECUPERADO (RA) EN LA CAPA DE RODADURA Y UN 20 % EN EL RESTO DE LAS CAPAS BITUMINOSAS**

De manera análoga a la anterior, en la **Tabla 12** del presente documento se presentan los resultados de los Factores de Emisión obtenidos para aquellas secciones de firme contempladas en la Norma 6.1IC, considerando ahora que las mezclas bituminosas, todas ellas semicalientes, tienen incorporadas un 15 % de asfalto recuperado (RA) en la capa de rodadura y un 20 % en el resto de las capas bituminosas.

Igualmente, los resultados se presentan aquí desagregados en las subtablas 12.1 (Firmes flexibles y semiflexibles), 12.2 (Firmes semirrígidos con suelocemento) y 12.3 (Firmes semirrígidos con suelocemento y gravacemento).

**Tabla 12:** Huella de carbono de las secciones de firmes ( $kg\ CO_2e/m^2$ )  
MEZCLAS BITUMINOSAS SEMICALIENTES PARA CAPA DE RODADURA CON 15%  
DE RA, RESTO 20%

**Subtabla 12.1**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes flexibles y semiflexibles

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42
E1				51,32	38,73	21,55	22,16	13,51
E2			52,14	44,24	32,48	20,78	20,63	11,97
E3			44,24	35,66	19,25	18,48	19,09	11,20



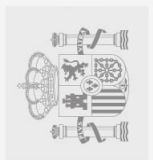


**Subtabla 12.2**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes semirrígidos con suelocemento

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42
E1				46,92	42,14	36,58	34,94	22,60
E2			47,15	42,19	37,45	33,46	32,05	20,86
E3			44,16	36,35	31,95	28,83	29,15	19,71

**Subtabla12.3**  $FE_{fir}$  de secciones de firmes semirrígidos con suelocemento y gravacemento

	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42	T42*
E1									
E2			64,93	30,27					
E3									





## 10 APÉNDICE Nº 4: ALGUNOS EJEMPLOS DE CÁLCULO

En la tabla 13 se muestra la justificación de las emisiones de una mezcla bituminosa tipo BBTM 11 B, en la que se establece un rendimiento de 8,889 m<sup>2</sup> en 8 horas de trabajo, se extiende la mezcla con un equipo de transferencia autopropulsado y se emplean 8 camiones en el transporte de la mezcla a la obra para una jornada de 8 horas.

**Tabla 13:** Descripción del cálculo de los kg de CO<sub>2</sub>e para un m<sup>2</sup> de superficie de una mezcla tipo BBTM 11 B de 3 cm con betún modificado PMB 45/80 65 calculados a partir de la DAP de la mezcla obtenidas con las etapas de producto y de las etapas de proceso de construcción (A1 a A5)

m <sup>2</sup>	MEZCLA BITUMINOSA TIPO BBTM / BETÚN PMB, TRANSPORTE, EXTENSIÓN Y COMPACTACIÓN	ESPESOR	DENSIDAD	kg CO <sub>2</sub> e	
				Unitario	Total
t	Mezcla bituminosa tipo BBTM, incluso betún, en central (áridos)	0,0300	2,2500	89,14	6,02

Otro ejemplo sería el de una sección de firme de la Norma 6.1 IC:

Se incluye un ejemplo de una sección de firme tipo 231 para un tráfico T2 y una explanada E3, compuesta por 20 cm de mezcla bituminosa sobre 25 cm de zahorra para la que los cálculos se realizarían del siguiente modo:

**Tabla 14:** Descripción del cálculo de los kg de CO<sub>2</sub>e para un m<sup>2</sup> de la sección 231 de las secciones de firme de la Norma 61 IC

ESPEORES (cm)	CAPAS	UNIDAD	DOTACIÓN	UNIDAD DAP	m <sup>2</sup>
3	BBTM	t	-	89,14	6,02
6	AC BIN	t		70,62	10,17
11	AC BASE	t		70,62	18,64
25	ZAHORRA	m <sup>3</sup>		15,34	3,07
1 aplicación	R imp	t	1,0 kg/m <sup>2</sup>	227	0,25
2 aplicaciones	R adh	t	0,7 kg/m <sup>2</sup>	227	0,18
<b>TOTAL</b>					<b>38,33</b>

