



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Análisis del ciclo de vida de mezclas asfálticas sostenibles

Trabajo realizado por:

Cristina Quintanilla Fernández

Dirigido:

Pablo Pascual Muñoz

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Santander, diciembre de 2016

TRABAJO FINAL DE GRADO

Contenido

1.	INTRODUCCION	4
1.1	Contexto actual general	4
1.2	Contexto específico	6
1.3	Objetivos y estructura del proyecto	9
2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	11
2.1	Análisis del ciclo de vida	11
2.1.1	Definición y elementos principales	11
2.1.2	Fases del análisis del ciclo de vida y normativa.....	14
2.2	Mezclas bituminosas.	22
2.2.1	Mezclas bituminosas convencionales.	22
2.2.2	Mezclas bituminosas sostenibles	24
2.2.3	Estructura del firme.....	33
3.	Análisis del ciclo de vida de mezclas sostenibles	36
3.1	Objetivos específicos.....	36
3.2	Unidad funcional	36
3.3	Escenarios.....	37
3.3.1	Materiales que componen la mezcla bituminosa.....	39
3.3.2	Descripción del ciclo de vida en cada escenario.....	41
3.3.3	Escenario 1	49
3.3.4	Escenario 2	51

3.3.5	Escenario 3	53
3.4	Inventario del ciclo de vida.....	55
3.5	Evaluacion del impacto del ciclo de vida	58
4.	Resultados y discusión.....	60
4.1	Ciclo de vida y procesos de cada uno de los escenarios	60
4.2	Resultados de cada escenario.....	68
4.3	Comparacion de los escenarios.....	71
4.4	Análisis de sensibilidad.....	74
5.	Conclusiones	78
6.	Bibliografía	79
7.	Anexo de cálculo	80

1. INTRODUCCION

1.1 CONTEXTO ACTUAL GENERAL

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental que nos permite analizar el impacto ambiental que va a generar un determinado producto a lo largo de todo su ciclo de vida. Se definirá con exactitud en el siguiente capítulo puesto que, en este, trataremos de dar una breve descripción de dicho término, para poder comprender con mayor facilidad y exactitud sus principales campos de investigación, aplicación y los principales objetivos del presente documento.

Dentro de las diferentes aplicaciones que posee esta técnica de gestión ambiental cabe destacar la gran influencia, que genera sobre el ahorro de energía, el cual se hace posible a través de estudios fundamentados y justificados siempre que se sea posible, ya que, en ciertos campos, resulta muy complejo poder desarrollar teorías sin la aparición de pequeñas tolerancias.

Los estudios del análisis del ciclo de vida, potencian principalmente, la reducción de los impactos ambientales mediante productos sostenibles y duraderos que nos permiten garantizar la manutención junto con el bienestar y la protección, de las generaciones presentes, satisfaciendo sus necesidades, sin comprometer, las necesidades de las generaciones futuras, en términos ambientales y si es posible, manteniendo los campos económicos y sociales.

En el futuro, los análisis del ciclo de vida de diversos mecanismos, nos proporcionarán productos eficientes y ecológicos que nos permitirán ver, la próspera rentabilidad económica y medioambiental generada por este tipo de estudios, los cuales, comenzaron prácticamente, sin ningún tipo de poder de influencia sobre las empresas y con el tiempo, están alcanzando cierto respeto y solicitud en diversos ámbitos.

La protección y preocupación del medio ambiente, en términos relacionados con la contaminación, es una de las grandes preocupaciones sociales, por lo que se están incrementando los estudios del ACV, potenciando su elevada rentabilidad económica, desde el punto de vista de las empresas, ya que todas aquellas que realicen dichos análisis, recibirán subvención económica por parte del estado, de esta manera, se pretende aumentar la preocupación por el medio ambiente, por parte de las empresas.

En la figura 1, podemos apreciar que la proliferación de la contaminación del medio ambiente, junto con la aparición de otros importantes impactos ambientales, depende principalmente del ser humano.



Figura 1: ACV simboliza la prioridad de proteger el medio ambiente (Fuente: ministerio del medio ambiente).

Otra de las grandes aplicaciones de ACV, a nivel general, que cabe destacar, son los usos de los estudios relacionados con el cambio climático, que tratan de concienciarnos, para proteger y cuidar, el medio ambiente, a través de productos que hacen un uso más eficiente de los recursos, para unirse al esfuerzo común de reducir las emisiones de gas con efecto invernadero.

Una de las medidas eficientes que se ha optado tras realizar el ACV, para solventar los problemas generados por el cambio climático y en consecuencia del efecto invernadero, ha sido incidir directamente en el sector transporte ya que dicho sector es responsable de la emisión de este tipo de gases. Se analizaron los combustibles para poder encontrar herramientas que redujesen este problema ambiental. (Ministerio de Medio Ambiente)

Dicho asunto, será tratado con posterioridad a lo largo del capítulo 4, del presente estudio, en la parte correspondiente a las conclusiones, donde veremos, como afecta el aumento y la reducción, de las distancias de transporte, en el análisis del ciclo de vida de nuestro tramo de carretera.

A través de dicho análisis, se cuantificarán todas las consecuencias en el medio ambiente que llevarán consigo, a la producción y al uso de combustibles alternativos, rentables y eficientes, de este modo se contribuirá, a prevenir y a reducir la entrada de agentes contaminantes en la atmosfera.

En relación a este tipo de combustibles alternativos, gracias a un ACV basado en el estudio de los biocarburantes, realizado por el centro de investigaciones energéticas, tecnológicas y medioambientales (CIEMAT), queda demostrado que los combustibles fósiles sustituidos inicialmente, en el proceso del ciclo de vida de este tipo de productos, emiten más gases de efecto invernadero que durante su etapa final, es decir, cuando el producto está transformado en biocarburante. (Fuente: CIEMAT)

A continuación, en la figura 2, se muestran los resultados obtenidos por el CIEMAT.

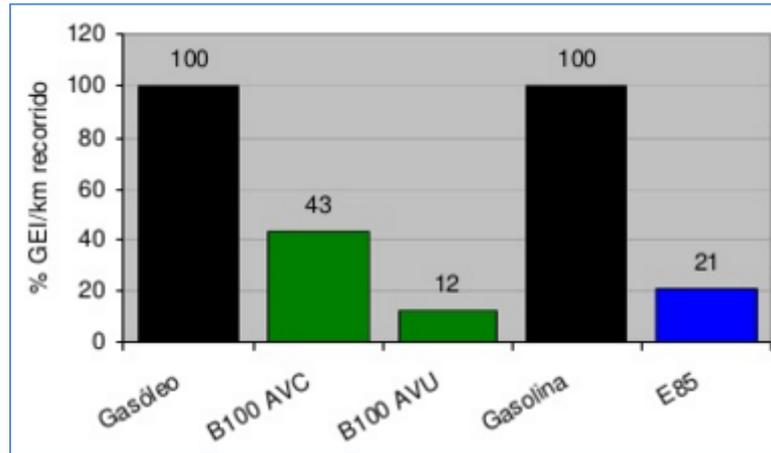


Figura 2: ACV de los biocarburantes realizado por el CIEMAT (Fuente: European Environment Agency)

En nuestro caso, analizaremos 3 escenarios con idénticas dimensiones, pero con diferentes materiales, en la capa de mezcla bituminosa, por lo que generaran distintos impactos ambientales, en función de los materiales que empleemos.

1.2 CONTEXTO ESPECÍFICO

Para poder ubicarnos en el contexto específico del presente estudio, debemos destacar, que su objeto principal, es realizar el ACV de mezclas asfálticas sostenibles, para ello, nos serviremos del método, que nos permite la cuantificación de todos los impactos ambientales posibles, que puede generar nuestro producto, las mezclas asfálticas sostenibles, en el medio ambiente, es decir, desde la cuna hasta la tumba, principalmente. Esto incluye la realización de todas y cada una de las fases y del ciclo de vida del producto, hasta que es devuelto al medio ambiente o reciclado. Por otro lado, estableceremos más adelante, en nuestro estudio, toda la información vinculante a los tipos de mezclas existentes, tanto las bituminosas convencionales, como las mezclas bituminosas, con árido siderúrgico, escorias, lo cual se detallará, en el capítulo 4.

Debido a que nuestro proyecto tratara el ACV de un tramo de carretera, es preciso, describir brevemente, dicho análisis, antes de su construcción, durante la misma y a lo largo de la vida útil de la carretera. A continuación, en la figura 3, se muestran algunas de las posibles emisiones que se vierten, a lo largo del proceso ya mencionado, con anterioridad.

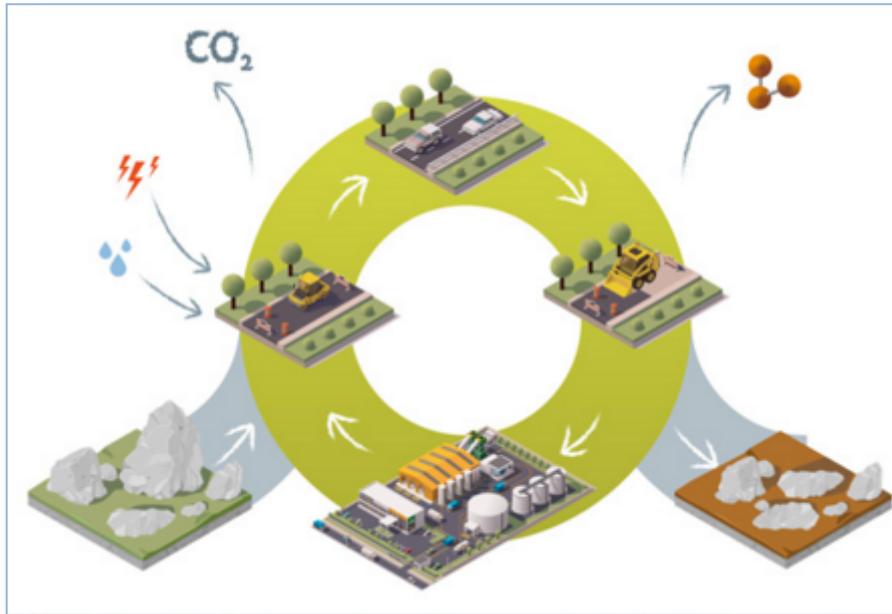


Figura 3: ACV de la construcción de una carretera y posterior mantenimiento realizado por el CIEMAT (Fuente: European Environment Agency)

Antes de su ejecución, debemos definir un término, que adquiere gran importancia en la toma de decisiones, de la construcción y uso, de un trazado de carretera, siendo éste conocido como, “carretera sostenible”, para el que se ha producido una continua evaluación y mejora de la sostenibilidad, de las diversas actividades humanas. Para ello la eficiencia energética y ambiental deben prevalecer durante toda la vida útil de la carretera. [1]

Una ingeniería de carreteras sostenible y responsable, tiene que evaluar todas las posibles circunstancias que se puedan dar, durante la construcción de la carretera y que puedan ocasionar daños en el medio ambiente, lo cual implica:

- I. Diseñar y proyectar la carretera, minimizando las posibles afecciones. Siendo esta fase la más importante, desde el punto de vista de la sostenibilidad.
- II. Analizar la fase constructiva, optimizando los procesos y materiales empleados, para lo cual nos serviremos de las mejores técnicas disponibles (MTD) en carreteras.
- III. Conservar y gestionar las redes de carretera, para poder mantener el menor número de afecciones en el medio ambiente durante su fase de explotación y uso.

En la actualidad, cuando tenemos que escoger materiales o técnicas constructivas, estamos condicionados y limitados, por los requisitos estructurales y aspectos económicos de una obra. Sin embargo, los factores ecológicos han adquirido a lo largo de los años un mayor peso, debido a que se está fomentando el cuidado y la protección, del medio ambiente. Con el objetivo de evaluar los impactos ambientales, generados en las autopistas, se realizó un análisis de ciclo de vida de cuatro tipos de firmes viales (dos rígidos, de hormigón, y dos flexibles, bituminosos) conforme a la norma ISO 14040, que definiremos con exactitud en los siguientes capítulos

(fundamentos teóricos). Mediante la investigación de las fases de construcción, uso y mantenimiento, para una vida útil de 30 años, de los diferentes escenarios, recogidos en el capítulo 4, se cuantificó la reducción del impacto ambiental.

El ACV de los firmes rígidos de hormigón, mostró que su impacto medioambiental dependía claramente de la elección del tipo de cemento. El análisis de los firmes bituminosos nos permitió ver que el impacto medioambiental puede reducirse mediante la mejora del proceso de producción de la mezcla.

Ahora bien, lo más importante, es que el impacto medioambiental puede minimizarse, controlando la distancia de transporte, ya mencionado anteriormente. El análisis del mantenimiento de los diferentes tipos de firmes, mostró que la inversión en firmes de durabilidad elevada, es rentable. Puede alcanzarse una reducción aún mayor de la contaminación, mejorando las propiedades del firme (por ejemplo, textura, rigidez y regularidad), lo que reduciría significativamente el consumo de combustible de los vehículos. Por lo tanto, el desarrollo de un firme, que disminuya el consumo de combustible de los vehículos, es más importante que un firme con menores impactos medioambientales, durante la construcción y el mantenimiento. [2]

Desde el uso del concepto de desarrollo sostenible y posterior inclusión, de los análisis del ciclo de vida, en diversos proyectos, junto con su aplicación, en las diversas áreas de la planificación urbana y en los proyectos de construcción, en general, han aparecido un contado número de indicadores de sostenibilidad.

Este trabajo analiza la necesidad de establecer un sistema, formado por un grupo de indicadores que incluya a todos los partícipes involucrados, en el ciclo de vida de un proyecto de Infraestructura, para hallar criterios de registro y evaluación de la sostenibilidad. Por lo tanto, se identifican, clasifican y priorizan, las diferentes variables de sostenibilidad, que conforman un instrumento de gran utilidad, dentro del mecanismo de toma de decisiones, o como herramienta de gestión integral de la obra civil, aplicado a áreas ambientales, sociales, económicas, institucionales y tecnológicas.

La aplicación de este método para proyectos de infraestructura, está siendo de los primeros pasos, para controlar los procesos y su posterior evaluación, en diferentes ámbitos de la sostenibilidad, de una obra de infraestructura, con la intención de mejorar el sector de la construcción y el medio ambiente construido, donde cabe destacar, el gran ahorro económico que se genera, adoptando estas medidas medioambientales, en las licitaciones del proyecto.

1.3 OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El objeto del presente estudio es establecer una comparativa, del análisis del ciclo de vida, de la cuna a la tumba, incluyendo todas las fases del ciclo de vida del producto, hasta que es devuelto al medio ambiente, tras alcanzar su vida útil, o reciclado.

Para ello realizaremos, un balance ambiental, entre los diferentes escenarios, detallados en el capítulo 4, que conformarán las mezclas bituminosas, de la estructura de un pavimento, cuyas características geométricas, son idénticas, mientras que, los materiales que conforman la capa de mezcla bituminosa, serán distintos.

Dicho análisis, se realizará, en un tramo de carretera de 1 kilómetro, ubicado en Solares, perteneciente, a la comunidad autónoma de Cantabria.

Para poder cumplir dicho objetivo, hemos hallado todas las propiedades de las respectivas mezclas bituminosas, separando, cada una de sus capas, es decir, capa de rodadura, capa intermedia y capa base, en cada uno de los escenarios, puesto que, tendremos diferentes áridos y/o materiales.

Dichas propiedades serán tanto geométricas, como físicas y químicas, para lo cual, nos hemos visto ayudados principalmente del pliego de carreteras, el cual nos permitirá, escoger el tipo de mezcla en los 3 escenarios, definidos con posterioridad, en el capítulo 4.

La metodología empleada, tras establecer toda la información de los escenarios, es el software GABI 6.0, hemos introducido en dicho software, todos los datos que necesitamos, para que, podamos llevar a cabo, todos los procesos unitarios y necesarios, incluidos en el ciclo de vida de la mezcla, y realizar una posterior, evaluación del ciclo de vida de nuestros productos.

De esta manera, podremos obtener el balance de los mismos, lo cual incluirá, tanto los recursos como las emisiones, que aparecerán, tras la realización de dicho proceso, junto con, las diferentes categorías de impacto, que se generarán, durante todo el proceso del ciclo de vida, desde la ejecución de la elaboración de materias primas, hasta el fresado y posterior retirada de la mezcla bituminosa, establecida en 20 centímetros de espesor y cuya vida útil será de 20 años.

La comparativa de los escenarios, se realizará a partir del primer escenario (capítulo 4), y debido a que cada categoría de impacto ambiental, tendrá diferentes unidades, lo que haremos, será establecer las comparaciones entre ambos escenarios, pasándolos a porcentaje, con lo cual trabajaremos con datos adimensionales.

Por último, realizaremos un análisis de sensibilidad, variando las distancias de transporte a las respectivas plantas asfálticas, de esta manera, estableceremos la gran importancia que tiene dicho factor, en cuanto a generación de emisiones y al aumento de las categorías de impacto, siempre desde un punto de vista medioambiental, todo esto, queda recogido, al final del capítulo 4.

Para poner fin al presente estudio, estableceremos en el capítulo 5, modificaciones medioambientales, viendo como varían los impactos, si disponemos de un vertedero de materiales próximo a la obra, donde enviaremos el 20% de escoria, en vez de reciclar dicha cantidad.

ABSTRACT

The purpose of this study is to establish a comparative analysis of the life cycle through a balance between the different scenarios that conform bituminous mixtures of the structure of a pavement.

To meet this objective, we have found all the properties of the respective bituminous mixtures, individualizing each of its layers, pavement layer, surface layer, intermediate layer and base layer in each of the scenarios, since in each of these, we will have different aggregates and / or materials.

These properties are both geometric and physical and chemical, for which, we have been helped mainly road specifications.

We subsequently introduced in the GABI 6.0 all the data you request such software, to carry out all unit and necessary processes involved in the life cycle of the mixture and subsequent evaluation of the life cycle of our products, with subsequently, to obtain in this way, the balance there of; which will include both the resources and emissions, which appear after the completion of this process, together with the different impact categories that were generated throughout the process life cycle, from the execution of the processing of raw materials to the milling and subsequent removal of the asphalt mix, set to 20 centimeters thick and whose durability is 20 years.

The comparative scenarios will take place from stage 1 and because each environmental impact category will have different units, what we will establish comparisons between the two scenarios, passing them a percentage, which will work with dimensionless data.

On the other hand, we visualize environmental changes, seeing the impacts vary if we have a landfill next to the work materials, which will send 20% of slag, instead of recycling that amount. Finally, we will conduct a sensitivity analysis, varying transport distances to the respective asphalt plants, thus establish the great importance of this factor in generation of emissions and proliferation of impact categories, always from a point environmentally.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

2.1.1 DEFINICIÓN Y ELEMENTOS PRINCIPALES

La finalidad del presente documento es el estudio del análisis del ciclo de vida de mezclas asfálticas convencionales y por lo tanto, debemos comenzar por la definición general de dicho término, siendo éste, un análisis, técnica o herramienta de gestión ambiental que nos ayuda a visualizar y comprender los impactos ambientales, asociados a un determinado producto, permitiéndonos tomar decisiones, para su posterior evaluación, las cuales, deben ser, lo más adecuadas y óptimas posibles.

Además dicha técnica de gestión ambiental, recopila las entradas, salidas y los impactos ambientales potenciales, de un sistema del producto, a través de su ciclo de vida, entendiendo por ciclo de vida, al conjunto de actividades o etapas del producto, que se realizan de manera ordenada, comenzando con la formación del producto, a partir de materias primas y finalizando, con la conversión de este, en un residuo o reciclándolo y siendo trasladado, de manera eficiente al medio ambiente.

El ACV es una representación de la realidad, basada en un conjunto de datos disponibles. Sus resultados, son los impactos potenciales del sistema analizado, y su validez, depende de la calidad de dicho producto.

Esta herramienta de gestión ambiental es un marco metodológico para estimar y evaluar los impactos medioambientales que se le atribuyen a un producto durante todas las etapas de su vida.

Teniendo en cuenta que todas las actividades, o procesos, generan impactos o cambios en el medioambiente, ya que consumen recursos, emiten sustancias al medio ambiente, y generan otras modificaciones ambientales durante su vida. Tendremos que darle prioridad y valorar los impactos, que influyen en el cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la generación de ozono, eutrofización, acidificación y otras muchas.

EL ACV fue desarrollado aproximadamente en los años sesenta y es utilizado fundamentalmente para la prevención, de la contaminación, desde esa época.

Podemos afirmar que no disponemos de procesos o procedimientos específicos, a seguir para poder evaluar los productos, pero de lo que si disponemos, es de un conjunto de aproximaciones que pueden ser muy útiles para examinar los productos, durante todo su ciclo de vida, desde que se extraen y retratan las materias primas, hasta su reutilización, reciclaje o eliminación del producto.

Realizando este procedimiento medioambiental podemos hilar toda la información de que disponemos y podemos comparar y validar, las ventajas y desventajas entre los diversos productos.

A continuación, en la figura 4, se muestran las principales etapas del ciclo de vida de un producto, desde que es extraído, hasta su fin de vida.



Figura 4: ciclo de vida del producto (Fuente: Eco inteligencia).

El empleo de estas nuevas alternativas de gestión, permite seleccionar, si un nuevo desarrollo tiene viabilidad, desde el punto de vista de la sostenibilidad, siendo este concepto limitante para los diseños de productos y tecnologías. [3]

El análisis del ciclo de vida permite evaluar aspectos potenciales e impactos ambientales, vinculados al sistema del producto mediante:

- Recogida de información, recopilada en un inventario, de las entradas y salidas de materia más relevantes.
- Evaluación de impactos potenciales, sobre el medio ambiente asociados a las entradas y salidas.
- Interpretación de los resultados de la fase de inventario y de evaluación acordes a los objetivos y alcances del estudio.

El ACV tiene un triple enfoque:

- Ambiental, donde no considera aspectos políticos ni económicos ni sociales, los cuales pueden ser incorporados en el documento mediante otras técnicas.
- Relativo, donde todo el análisis que se realiza queda estructurado de manera ordenada entorno al mismo producto.
- Iterativo, donde tratamos de garantizar con la mayor precisión y exactitud posible la integridad y coherencia de los estudios y de los resultados obtenidos, para ello las fases del ACV están interrelacionadas y realizamos numerosas aproximaciones, para asegurarnos de obtener mejores resultados. [4]

Nuestra herramienta de gestión ambiental, puede combinarse con cualquier otra técnica, para poder recibir o cederle información y complementarse mutuamente para poder alcanzar así, los mejores resultados en ambos estudios.

Debemos de establecer unos criterios asociados al ACV para respetar fundamentalmente la confidencialidad y la propiedad. Además, este criterio ambiental nos puede ayudar a identificar oportunidades, para mejorar el desempeño ambiental de los productos, mejorar información de quienes toman decisiones en el ámbito industrial ya sean productores o consumidores, seleccionar los indicadores, de desempeño ambiental oportunos (técnicas de medición) y reforzar el marketing entre otros. [5]

El análisis del ciclo de vida, abarca todas las etapas del ciclo de vida del producto, y por lo tanto, aparece un término, conocido como, el sistema del producto, el cual, desempeña una función, que debe de ser incluida durante todas las etapas a las que se somete al producto.

Los sistemas del producto, se dividen en un conjunto de procesos unitarios, vinculados con los flujos del producto. El nivel de detalle que se nos exija, para satisfacer las necesidades y el objeto de nuestro estudio, estará directamente relacionado y limitado por los procesos unitarios. La figura 5, recoge todos los procesos, vinculados a los flujos del producto.

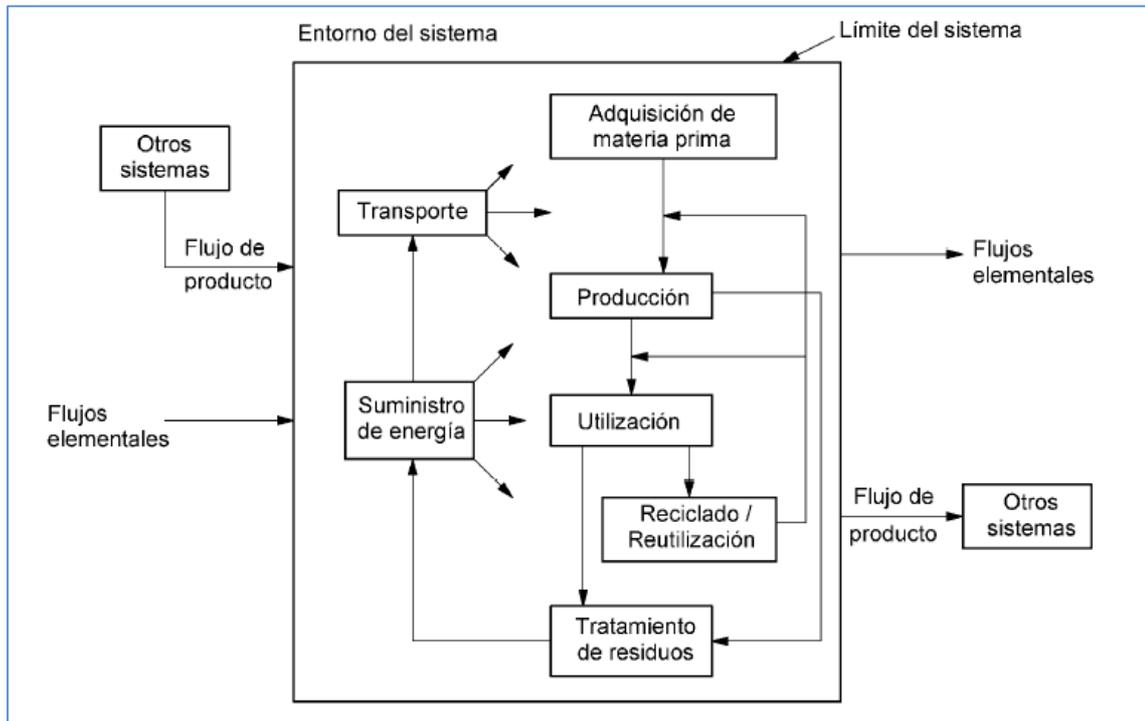


Figura 5 : sistema del producto para el ACV (fuente: norma ISO14040)

2.1.2 FASES DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA Y NORMATIVA

Nuestra herramienta de gestión ambiental, está regulada mediante una serie de normas internacionales, principalmente por la ISO 14040 (ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006) y se divide en cuatro fases:

2. Definición del objetivo y el alcance.
3. Análisis del inventario.
4. Evaluación del impacto ambiental.
5. Interpretación.

Al realizar un análisis del ciclo de vida de un producto, debemos aplicar los requisitos de la norma ISO 14044, siendo ésta, la continuación mejorada de la norma ISO 14040.

La figura 6, recoge las fases del ciclo de vida, junto con algunas de sus aplicaciones directas.

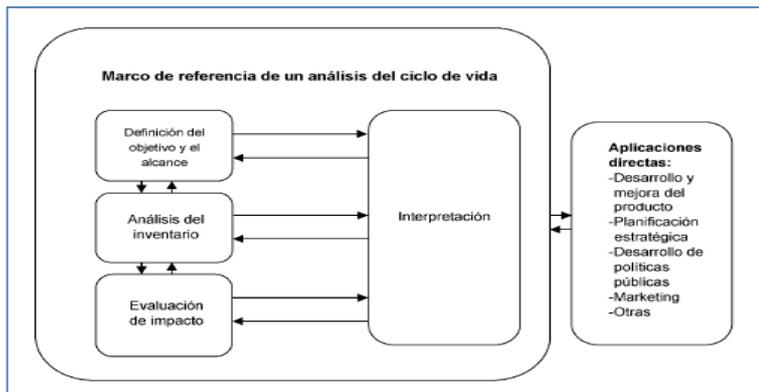


Figura 6 : etapas de un ACV (fuente: norma ISO 14044)

Definición del objetivo y el alcance.

Se trata de la primera fase, de nuestra herramienta de gestión ambiental, donde nos centramos en el campo de la profundidad y amplitud del ACV, ya que depende principalmente, del objetivo que queramos establecer en nuestro estudio.

El alcance debe de estar, lo suficientemente bien definido, como para asegurarnos de que la amplitud, profundidad y nivel de detalle, del estudio realizado, son compatibles y aceptables para alcanzar el objetivo esperado.

El objeto del ACV debe establecer los siguientes criterios:

- Aplicación prevista.
- Razones por la que se realiza el estudio.
- El público esperado, personas a las que les vamos a exponer los resultados obtenidos en el estudio.
- Si es necesario, debemos exponer los requisitos específicos del ACV.

En lo referente al alcance del ACV, debe incluir los siguientes puntos o términos que quedarán definidos en la fase siguiente:

- Sistema del producto.
- Funciones del sistema.
- Unidad funcional.
- Límites del sistema.
- Procedimientos de asignación.
- Categorías de impacto seleccionadas.
- Calidad inicial e integridad.
- Todas las hipótesis planteadas.

- Limitaciones encontradas.
- Revisión crítica si es preciso.
- Tipo y formato del informe requerido.

Análisis del inventario:(ICV)

En esta fase del ACV tratamos de recopilar el máximo número de información, datos y procedimientos necesarios para poder cuantificar las entradas y salidas que nos son necesarias del sistema del producto, incluyendo el inventario que se realiza posteriormente.

Los procesos unitarios, figura7, son los elementos más pequeños considerados en el análisis del inventario del ciclo de vida, para el cual se cuantifican datos de entrada y de salida y se establece un criterio de corte, donde se especifica la cantidad de flujo, de materia, o de energía o bien, al nivel de importancia ambiental, asociado, a los procesos unitarios, o al sistema del producto, para poder retirarlos del estudio.

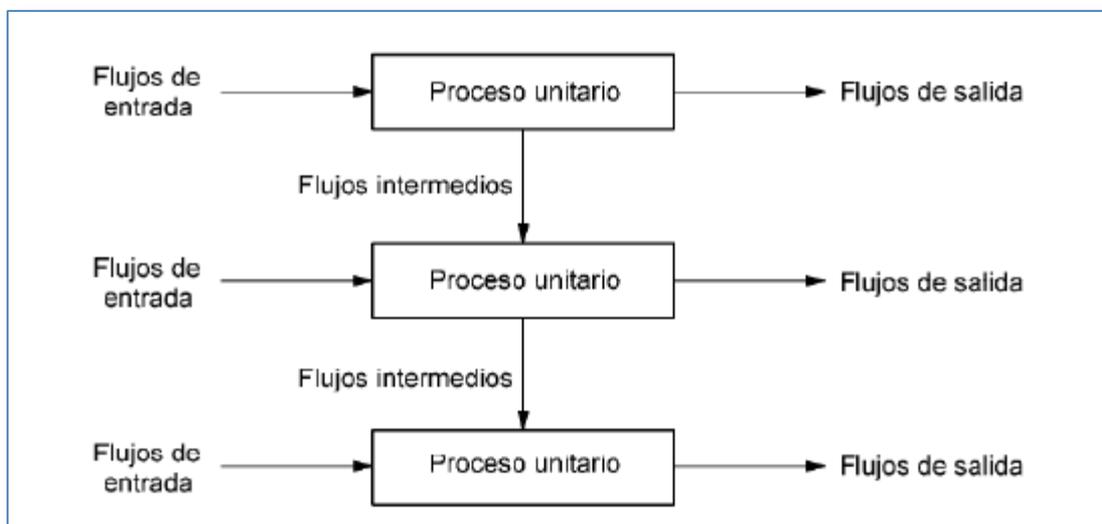


Figura 7: conjunto de procesos unitarios (fuente: norma ISO 14044).

Para el cálculo de los flujos de energía, debemos de tener en cuenta, las diversas fuentes de combustibles y electricidad empleada, la eficiencia de la conversión y la distribución del flujo de energía, así como la entrada y salida, relacionadas con la generación y uso, del flujo de energía.

La realización de un ICV, es un proceso iterativo, puesto que a medida que vamos recogiendo información y datos del sistema del producto, podemos encontrar, nuevas limitaciones o nuevos requisitos, por los que tendremos, que cambiar procedimientos, para poder cumplir con el objetivo del estudio.

Tras recopilar los datos, los procedimientos de cálculo, tienen que incluir principalmente:

- Validación de los datos. Debemos verificar, la validación de los datos, mientras recogemos información, para poder confirmar la evidencia y poder así, cumplir las

exigencias de la calidad de los datos. Esto puede implicar, tener que hacer balances de energía y/o análisis, comparando los factores de vertido y emisión.

- Relación datos-procesos unitarios.
- Relación datos-flujo de referencia de la unidad funcional.

En los dos últimos requisitos, debemos determinar para cada proceso un flujo adecuado, para ello, calcularemos datos cuantitativos, de entrada y salida del proceso unitario relacionado con ese flujo. Todos los flujos se relacionan con el de referencia que a su vez está vinculado a la unidad funcional, véase figura 8.

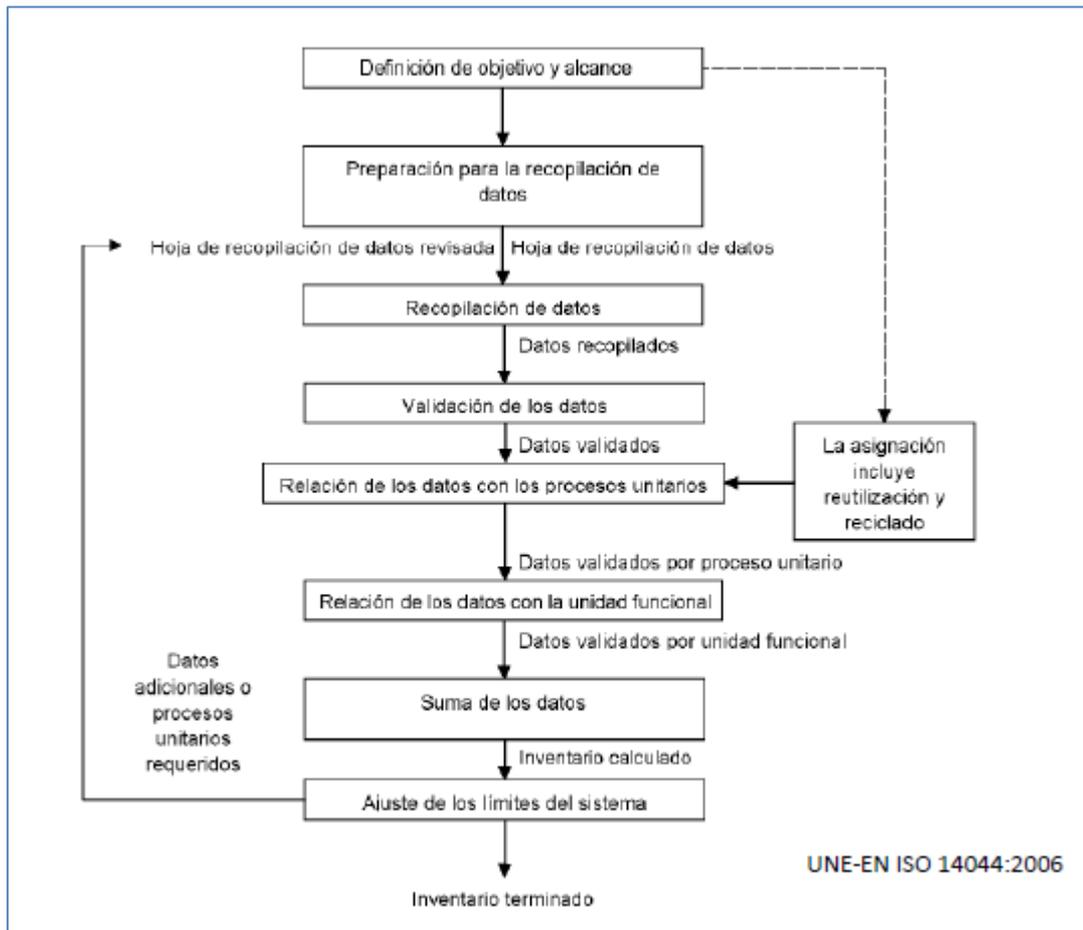


Figura 8 : procedimientos simplificados para el análisis del ICV (fuente norma ISO 14044:2006)

Debido a que la naturaleza del ACV es iterativa, tendremos que realizar un análisis de sensibilidad, para poder determinar su importancia y acreditar todos los resultados de este análisis mediante resultados, los cuales pueden ser:

- Excluir etapas o procesos unitarios porque no son lo suficientemente importantes.
- Excluir entradas y salidas para los resultados del estudio.

- Incluir etapas, procesos y/o entradas o salidas los cuales, el análisis de sensibilidad ha demostrado su importancia para poder alcanzar el objetivo del ACV.

El estudio, debe ver si se está compartiendo procesos, con otros sistemas del producto, en este caso, debemos de solventarlo con el procedimiento por pasos, siendo dichos pasos, los mostrados a continuación:

1. Evitar la asignación si es posible. Para ello, dividimos el proceso unitario, en subprocesos que pueden ser dos o más. También podemos ampliar, el sistema incluyendo funciones adicionales.
2. Cuando no podemos evitar la asignación, debemos separar las entradas y salidas de tal forma que se reflejen, los cambios cuantitativos generados en ambos, por los productos.
3. En el caso de que la relación física, no pueda establecerse o usarse, como base de asignación, debemos asignar las entradas entre los productos y funciones, reflejando sus relaciones físicas.

Debido a que el inventario se realiza principalmente, a todas las entradas y salidas del sistema de producto y se basa, en los balances de materia de dichos elementos, los procedimientos de asignación, deberán parecerse y aproximarse, lo máximo posible, a las relaciones existentes entre las entradas y salidas.

Los procedimientos de asignación, también pueden ser aplicados, en el ámbito de la reutilización y reciclado del producto, puesto que el material, puede sufrir cambios significativos durante el ciclo de vida, tales como el compostaje o la recuperación de energía.

Podemos aplicar diferentes procedimientos o procesos de asignación:

- Procedimiento de asignación de ciclo cerrado, el cual se aplica a sistemas del producto cerrados, pero si no tenemos cambios en las propiedades del material, podemos aplicarlo a un ciclo abierto. En este caso, no asignamos porque el uso de material secundario sustituye al primario.
- Procedimiento de asignación de ciclo abierto, el cual se aplica a sistemas del producto de ciclo abierto, donde el material, se recicla en otros sistemas, por lo que sufre un cambio en sus propiedades iniciales.

Los procedimientos de asignación, para los productos que son compartidos en los procesos unitarios, dependen, principalmente, de las propiedades físicas del producto, del valor económico del material virgen, comparándolo con el valor del material reciclado y de los usos, que le vayamos a dar posteriormente al material reciclado; tal y como nos muestra la figura 9.

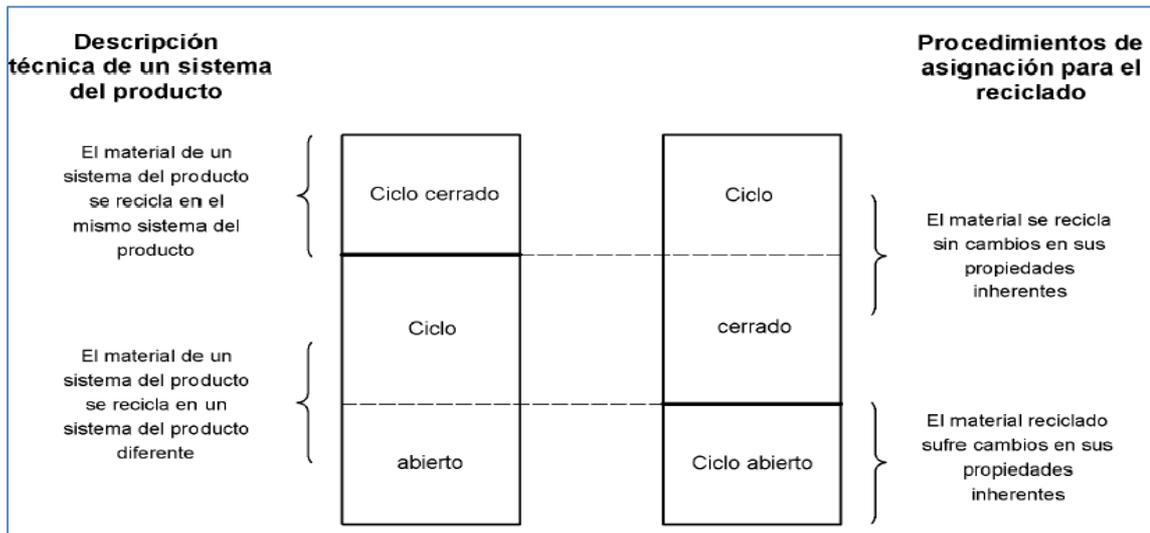


Figura 9: distinción entre la descripción técnica de un sistema del producto y los procedimientos de asignación para el reciclado.

Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida (EICV)

En esta fase, caracterizamos y evaluamos las cargas ambientales, identificadas en la fase anterior, es decir, cómo de significativos han sido los impactos ambientales, obtenidos en el inventario del ciclo de vida.

Durante este proceso, asociaremos los datos del inventario, con las categorías de impactos ambientales específicos, y con los indicadores de esas categorías. También podremos proporcionar información adicional, para poder evaluar de manera óptima los resultados obtenidos en el ICV. Esto se debe, a que en esta fase, podemos incluir y/o adaptar mayor información de la aportada durante el proceso anterior.

Por otro lado, cabe destacar los siguientes elementos, no opcionales que aparecen durante la ejecución de esta fase:

- I. Selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización.
 - II. Asignación de resultados del ICV a las categorías de impacto seleccionadas incluyendo la clasificación.
 - III. Cálculo de los resultados de indicadores de categoría basándose en la caracterización
- La selección de categorías debe recoger el objetivo y el alcance del análisis del ciclo de vida, junto con la descripción, del modelo, que vincula los indicadores de las categorías y los resultados obtenidos en el inventario.

La búsqueda incesante de un modelo, de caracterización idóneo y óptimo, debe ser primordial, pese a que en determinadas circunstancias, la definición y precisión, de los términos ya enunciados, no nos permitan cumplir los objetivos propuestos, teniendo entonces que volver a definirlos nuevamente.

Para cada categoría de impacto y por tanto, para poder definir con exactitud esta fase, debemos enumerar las siguientes pautas que debemos realizar:

- ✓ Identificación de los puntos finales de las categorías y su consiguiente definición de los indicadores de categoría para cada punto final.
- ✓ Identificar los resultados adecuados del inventario, para asignarlos a la categoría de impacto.
- ✓ Identificar tanto el modelo, como los factores, de caracterización.

Si justificamos lo previamente expuesto, no solo añadiremos validez científica y justificaciones teóricas, a nuestro análisis del ciclo de vida, también crearemos solidez, en nuestro modelo de caracterización, tal y como queda expuesto en la figura 10.

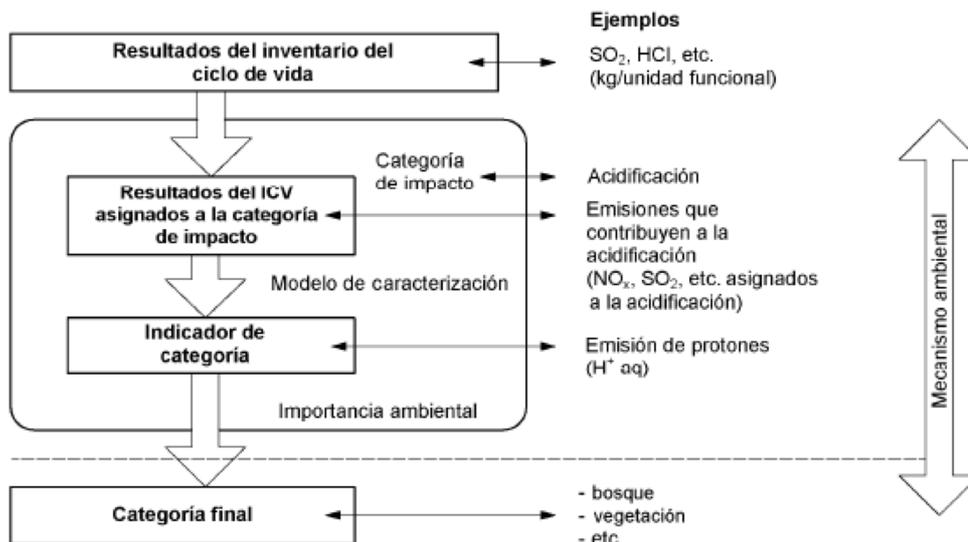


Figura 10 : concepto de indicadores de categoría (fuente norma ISO14044:2006)

La elección de los indicadores de categoría es libre, pudiendo ser estos, elegidos a lo largo del mecanismo ambiental, durante la obtención de resultados, en lo correspondiente al inventario.

La carencia de dimensiones o unidades geométricas precisas, durante la ejecución del ICV, fomenta las tolerancias, en la ejecución de esta fase por ello, no existen modelos perfectos de ACV que nos garanticen la veracidad de los estudios, por tanto, asumiremos, que continúan en pleno desarrollo.

En lo referente a la normalización, nos encargaremos de realizar el cálculo ,de la magnitud de los resultados, del indicador de categoría, obtenidos con respecto a la información previa de referencia, siendo dicho procedimiento opcional en la ejecución del análisis del ciclo de vida, y

estando, más concretamente dentro de la fase de evaluación, de impacto del ciclo de vida, sirviéndonos de gran utilidad, para fomentar, la fácil comprensión, en lo referente a la interpretación de datos del inventario.

Fundamentalmente queda expuesto, que la normalización se basa en una fórmula o ecuación matemática (Bare, et al. 2006) que establece lo siguiente: “El resultado normalizado de la correspondiente categoría, de impacto, corresponde, al valor del cociente entre el resultado del sistema de producto antes, de la normalización de su categoría de impacto y el valor de referencia, para la normalización de su respectiva categoría de impacto”.

Interpretación

La finalidad principal que se generará, durante la realización de esta fase, es crear un nexo de unión, entre las diversas fases anteriores, tratando de justificar, los principales objetivos y alcances, en última instancia, las conclusiones justificadas de ambos, enlazándolos a la diversidad de limitaciones, que nos hayan aparecido junto con las recomendaciones.

La fase de interpretación, puede recoger un proceso iterativo de revisión y de actuación del alcance, de un análisis del ciclo de vida junto con, su naturaleza y calidad de los datos obtenidos, para poder llevar a cabo, el desarrollo íntegro, del objeto del presente estudio.

En lo referente a la parte de la revisión, su necesidad, puede facilitarnos la comprensión, y en su defecto, generar una mayor credibilidad durante la exposición al público, lo cual, es de gran ayuda, para respaldar las diversas opiniones de este tipo de herramientas de gestión ambiental.

En el momento en que tomamos la decisión, debemos de asegurarnos, de que los diversos campos, llevados a cabo durante la ejecución del estudio, tales como, la clasificación, caracterización, normalización, agrupación y ponderación; sean suficientes y estén perfectamente documentados.

La revisión, que aparece durante esta fase, deberá ser realizada, por personal o expertos del campo de investigación, incluso por, agencias no gubernamentales, gubernamentales, competidores e industrias afectadas, ya que trataremos de reducir al máximo, las tolerancias y alcances o enfoques injustificados.

2.2 MEZCLAS BITUMINOSAS.

2.2.1 MEZCLAS BITUMINOSAS CONVENCIONALES.

Según el PG-3 de carreteras nos encontramos con los siguientes tipos de mezclas convencionales, recogidas en el artículo 542:

Hormigones bituminosos (AC), mezcla bituminosa, formada por la combinación de un betún asfáltico, áridos con granulometría continua, polvo mineral y, en algunas ocasiones se le añaden, aditivos, de esta forma, sus partículas queden recubiertas por una película homogénea de ligante.

En lo referente a su proceso de fabricación y puesta en obra, tendremos que tener en cuenta que emplearemos temperaturas superiores a la temperatura ambiente. Cabe destacar, que debido a las propiedades que presenta, es el material más usado, en proyectos de construcción para firmes de carreteras.

La proporción de partículas parcial y totalmente trituradas de árido grueso, queda establecida en un rango de entre el 100% y el 75% dependiendo de la categoría de tráfico.

Su designación es la siguiente:

AC D Surf/binder/base Ligante Granulometría

Siendo “AC”, el indicador, de que la mezcla es de tipo, hormigón bituminoso, “D” nos indica el tamaño máximo del árido teniendo de abertura del tamiz en porcentaje que pasa entre un 90% y un 100% del total.

Los términos “surf/binder/base”, nos indican, si la mezcla se va a emplear en la capa de rodadura, en la base o, en la intermedia.

Por último, la denominación, hace referencia al ligante hidrocarbonado, que se va a emplear y a la granulometría, que se indicara, para una mezcla densa (D), semidensa (S) o gruesa (G).

Por otro lado, debemos definir, como mezclas bituminosas para capa de rodadura, drenantes y discontinuas, aquellas mezclas, cuyos materiales combinados forman un ligante hidrocarbonado, áridos con granulometría continua, o discontinua, polvo mineral y

eventualmente aditivos, de manera que, todas sus partículas, conforman una película homogénea de ligante.

Las mezclas bituminosas drenantes, de acuerdo con el PG-3, presentan un alto contenido de huecos, que les proporcionan características drenantes, cuya proporción de finos es baja. Se emplean en capas de rodadura, cuyo espesor oscila entre 4 y 5 centímetros.

Las mezclas bituminosas discontinúas, presentan una granulometría discontinua, muy acentuada en los tamices inferiores, del árido grueso. Se distinguen dos tipos de mezclas bituminosas discontinuas, con dos husos granulométricos, por lo que con cada uso, podrán fabricarse mezclas bituminosas discontinuas, en caliente, para capas de rodadura de 2-3 centímetros de espesor.

2.2.1.1 FABRICACION, TRANSPORTE Y PUESTA EN OBRA

Nos servimos de la información recogida en el PG-3 para establecer los criterios que se exigen en los procesos de fabricación, transporte y posterior puesta en obra, de las respectivas mezclas bituminosas convencionales.

Dichas mezclas serán fabricadas, cumpliendo todos los requisitos que se establecen en la fórmula de trabajo empleada. El pliego de prescripciones técnicas particulares, nos dirá la producción mínima horaria, que se ha de considerar en la central, en función del tipo de obra a realizar.

El número de tolvas, no será inferior a 4 y variará, en función de la fracción gruesa, principalmente.

La central, tendrá sistemas separados de almacenamiento y dosificación, del polvo mineral recuperado y de aportación, los cuales, serán independientes, de los correspondientes al resto de los áridos, y estarán protegidos de la humedad.

La mezcla, será transportada, en camiones de caja abierta, lisa y estanca, dichos camiones dispondrán de una lona para cubrir la mezcla y evitar su contaminación.

La forma y altura de la caja debe de estar adaptada, a las dimensiones y características de la extendedora, la cual, estará dotada de dispositivos necesarios, para la puesta en obra de la mezcla bituminosa, con su geometría y un mínimo, de pre compactación que se fijara con

posterioridad mediante el pliego de prescripciones técnicas particulares. La potencia de esta máquina se fijará, mediante la fórmula del trabajo.

La extendedora, debe disponer de un equipo de nivelación automático, junto con otro de calefacción.

Respecto a los compactadores, necesitaremos como mínimo, un equipo de compactadores de rodillos metálicos, estáticos o vibrantes, de neumáticos o mixtos, en función de la obra, en cuestión. Dicha elección, será aprobada por el director de las obras, a la vista de los resultados durante la ejecución del tramo de prueba. Todos los tipos de compactadores empleados, deberán ser autopropulsados, al igual que la extendedora.

2.2.2 MEZCLAS BITUMINOSAS SOSTENIBLES

Comenzaremos, por las mezclas bituminosas sostenibles templadas, las cuales, tienen un diferente proceso de fabricación, que no excede de los 100°C, por lo que se reducen unos 30°C respecto del proceso de fabricación habitual de mezclas bituminosas convencionales.

Estos cambios en el proceso de fabricación generan a su vez, unas consecuencias medioambientales tales como la reducción del consumo de energía o la reducción de las emisiones de CO₂, entre otras.

Dentro de las principales ventajas de este tipo de muestras se encuentran las siguientes:

- Mayor sostenibilidad, puesto que, durante su proceso de fabricación, reducimos la temperatura y por lo tanto, se aumenta la durabilidad del ligante, reduciendo su envejecimiento y el desgaste.
Por otro lado, facilitan la extensión y el transporte del material, permitiendo una apertura más rápida de las vías en obra.
- Aumento de la resistencia a la deformación, en función del tiempo e intensidad del tráfico que circula por las vías.

Todas las mezclas que definiremos, tienen unas especificaciones y requerimientos similares para los materiales que las componen, principalmente áridos y ligantes bituminosos pero, las características de diseño, cambiarán en función de su ubicación en las diferentes capas que

conforman el firme. A continuación, se muestra en la figura 11, como varían las mezclas, en función de su temperatura:

	Categoría de tráfico
Zona térmica estival	TOO-T0
CALIDA	BC35/50
MEDIA	BC35/50
TEMPLADA	BC350/70

Figura 11: tipos de ligantes hidrocarbonados a emplear en capas de rodadura y sucesivas.(Fuente:PG-3.)

Mezclas bituminosas templadas

Las mezclas templadas son aquellas mezclas, abiertas o cerradas, las cuales, son fabricadas con emulsión bituminosa y en las que es necesario el calentamiento de los áridos, en función, principalmente de la granulometría que queramos emplear. Dentro de sus características se encuentra la temperatura, donde se establecen unos rangos que delimitan este tipo de mezclas:

- Temperatura de fabricación: 85°C – 95°C.
- Temperatura de extendido:
 - I. mayor de 40°C, en mezclas abiertas.
 - II. mayor de 60°C, en mezclas cerradas.

Para poder definir con exactitud este tipo de muestras, debemos de tener en cuenta tanto sus tipos (abiertas y cerradas) como sus características. [11]

Las mezclas abiertas presentan las siguientes propiedades:

- ✓ Granulometrías con alto contenido de huecos en mezcla.
- ✓ Búsqueda incesante de mejorar las propiedades que presentan las mezclas bituminosas en frío para su apertura lo antes posible al tráfico de vehículos.

En lo referente a las mezclas templadas cerradas, se establece lo siguiente:

- ✓ Granulometrías con bajo contenido de huecos.
- ✓ Módulos cercanos a las mezclas en caliente, con buena resistencia a fatiga.

Características de las mezclas templadas:

- Uso de emulsiones catiónicas.
- Controlar la velocidad de rotura de la emulsión.
- Conseguir buenas envueltas del árido y betún residual.
- Control de la humedad final de la mezcla.
- Aplicación en cualquier capa del firme.

- Uso de material reciclado, en caso de que así se quiera, en porcentajes de hasta el 100%.

Mezclas bituminosas semicalientes

Para poder obtener este tipo de mezclas debemos de añadir hidrocarburos, los cuales, me reducen la temperatura del ligante, además su temperatura de fabricación oscila entre 125°C y 130°C.

En cuanto a su fabricación, para poder facilitar el proceso, nos servimos de unos compuestos que se encargan de eliminar el agua y permiten el desarrollo de una espuma adherida al betún, la cual nos reduce la viscosidad de la mezcla. Empleamos dos ligantes de diferentes viscosidades.

El primer paso que realizamos con estas mezclas es transformar un betún convencional en uno de menor viscosidad con la adición de una serie de aditivos, consiguiendo así una reducción del consumo de combustible. [12]

Podemos ver en la figura 12, como varia la viscosidad de un asfalto, desde su puesta en obra, hasta completada su vida útil.

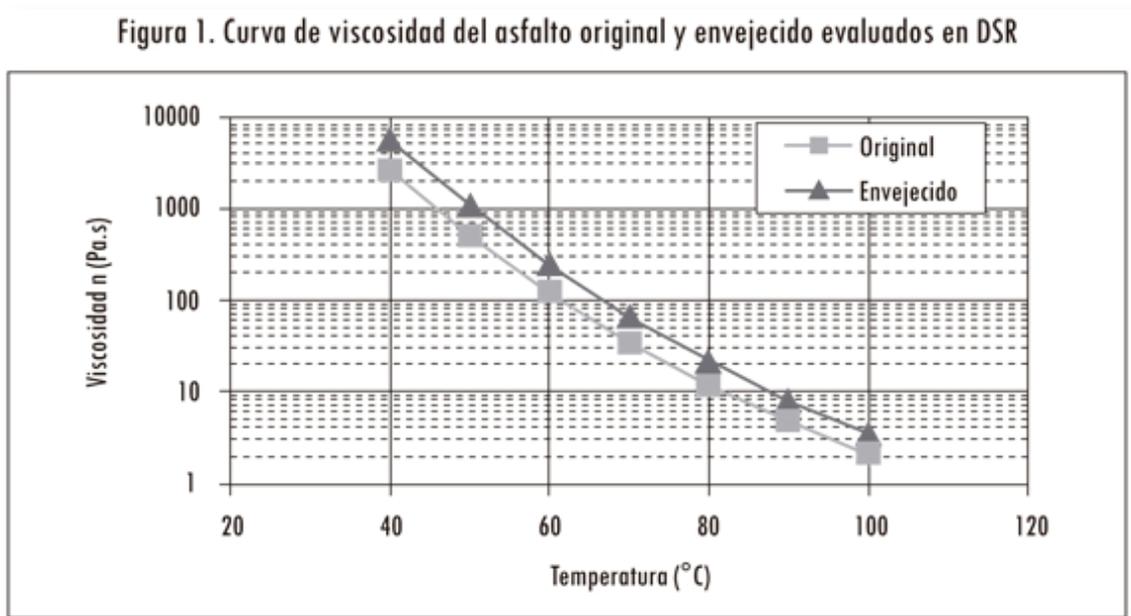


Figura 12: relación viscosidad y temperatura de un asfalto original y envejecido (Fuente: scielo.org).

La transformación que se realiza al alterar la viscosidad de los ligantes da como resultado aluminosilicatos con cavidades de dimensiones moleculares que permiten el intercambio iónico junto con las moléculas de agua.

Los ensayos a realizar en este tipo de mezclas son similares a los de la mezclas convencionales; sensibilidad al agua, cálculo de densidades, deformaciones, etc.

La temperatura, es un factor de vital importancia, sobre todo en cuanto a la fabricación de probetas, donde tendremos que tener en cuenta este factor y así poder acercarlo a los valores y condiciones de la obra en cuestión.

Mezclas bituminosas en frío

Las mezclas bituminosas en frío, se definen como la combinación de una emulsión bituminosa con áridos de grano grueso, pudiendo añadir aditivos, que mejoren la adhesividad, entre el árido y la emulsión. [13]

Desde el punto de vista del medio ambiente, este tipo de mezclas, se consideran de alto desarrollo ecológico, sobre todo, en lo referente a la temperatura, debido a que no se tienen que calentar, por lo tanto, evitamos el consumo de energía y la emisión directa, de gases contaminantes.

Es aconsejable almacenarlas en acopios, por otro lado, el extendido y compactación, se realizará a temperatura ambiente.

Estas mezclas, tienen un alto porcentaje de huecos, por lo que generan una óptima macrotextura, que a su vez, provoca una alta seguridad en las carreteras, con alta resistencia al deslizamiento. También se caracterizan por su baja sonoridad.

Las emulsiones o ligantes bituminosos, debido a la gran cantidad de árido grueso, poseen una rotura media, con fluidificantes.

Los áridos que componen estas mezclas, deberán cumplir, especificaciones determinadas tales como:

- ❖ Granulometría.
- ❖ Naturaleza y calidad.
- ❖ Inalterabilidad.
- ❖ Angulosidad y forma.
- ❖ Resistencia a la fragmentación.
- ❖ Resistencia al pulimiento.
- ❖ Limpieza.

Los husos granulométricos quedan recogidos en la figura 13.

TIPO	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (% EN MASA)							
	Tamices UNE-EN 933-2 (mm)							
	40	31,5	20	12,5	8	4	2	0,063
AF8	-	-	-	100	50-75	10-28	0-5	0-2
AF12	-	-	100	60-85	30-55	6-24	0-5	0-2
AF20	-	100	70-95	45-70	22-46	3-20	0-5	0-2
AF25	100	81-93	54-78	30-58	16-42	3-20	0-5	0-2

Figura 13: husos granulométricos de mezclas bituminosas en frío (Fuente: ATEB).

Cuando los materiales cumplen las características exigidas, en el pliego de carreteras, se ha demostrado, que no generan prácticamente problemas, incluso para tráfico superiores a los que se les permite su uso.

Como estas mezclas se usan en la capa de rodadura, quedan delimitadas, por el coeficiente de los ángulos, véase figura 14, y de pulimiento acelerado determinados; de esta forma, nos aseguran, tanto la seguridad como la comodidad.

CATEGORIA DE TRÁFICO PESADO	MÁXIMO COEFICIENTE LOS ÁNGELES
T2 ó superior	20
T3	25
T4 y arcenes	30

Figura 14: coeficiente de Los Ángeles en relación con la categoría del tráfico (Fuente: ATEB).

La limpieza y la forma de los áridos empleados, en estas mezclas, son de vital importancia, por lo que las lajas, deben de ser evitadas, empleando áridos que formen un esqueleto mineral, que soporte el tráfico, con pocas caras de fractura, que nos dará un bajo porcentaje de rozamiento interno. Por otro lado, en cuanto al ligante, emplearemos emulsiones bituminosas convencionales o modificadas.

Cabe destacar que, se establecen unos porcentajes, en cuanto al contenido de agua de la mezcla, viscosidad y demás propiedades, los cuales, quedan recogidos en la figura 15, extraída y establecida por el PG-3.

CARACTERÍSTICAS	Unidad	Norma NLT	ECM		ECM-m		EAM		EAM-m		
			mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	
EMULSIÓN ORIGINAL											
Viscosidad Saybolt Furol	a 25°C	s	138	-	-	-	-	40	-	40	-
	a 50°C			20	-	20	-	-	-	-	-
Carga de partículas		194	positiva				negativa				
Contenido de agua (en volumen)	%	137	-	35	-	35	-	40	-	40	
Betún asfáltico residual	%	139	59	-	59	-	57	-	57	-	
Fluidificante por destilación	%	139	-	12	-	12	-	10	-	10	
Sedimentación (a los 7 días)	%	140	-	5	-	5	-	5	-	5	
Tamizado	%	142	≤ 0,10				0,10		≤ 0,10		
RESIDUO POR EVAPORACIÓN A 163°C (NLT-147)											
Penetración (25°C; 100g; 5s)	0,1 mm	124	130	250	100	220	130	250	100	220	
Punto de Reblandecimiento anillo y bola	°C	125			40	-	45	-	40	-	
Ductilidad * a 25°C; 5 cm/min) * a 5°C; 5 cm/min)	cm	126	≥ 40		-		≥ 40		-		
			-		≥ 10		-		≥ 10		
Recuperación elástica (25°C; torsión)	%	329	-	≥ 12		-		≥ 12			
Solubilidad en tolueno	%	130	97,5		-		97,5		-		

Figura 15: emulsiones bituminosas empleadas en mezclas en frío recogidas en PG-3 (Fuente: ETOB).

El uso de este tipo de emulsiones, nos garantizara mezclas de mayor calidad, poseen mayor viscosidad, por lo que su envejecimiento es menor, además, son menos susceptibles a las temperaturas y asumen mejor, las deformaciones generadas por el tráfico.

Estas mezclas, deben de ser estudiadas previamente en el laboratorio, para obtener la fórmula de trabajo teórica, la cual, se adaptará a los materiales empleados, antes del comienzo de la obra. Para poder obtener esta fórmula, nos fijaremos principalmente en los diferentes tamaños de los áridos y poder obtener de esta forma la curva granulométrica de la mezcla, que nos confirmara si el proceso de toma de muestras es adecuado.

El análisis de la mezcla se realizará, para comprobar que tiene las mismas propiedades y características,, de las obtenidas en los ensayos de laboratorio. A partir de este momento, comenzara la ejecución de la obra.

El diseño de estas mezclas está basado en el ensayo cántabro, NTL-362, desarrollado en nuestra universidad, al cuál, se le han incluido las siguientes modificaciones:

- Fabricadas las probetas, según la normativa que recoge este ensayo, las introducimos en un molde, recién compactadas, en una estufa a 75°C.
- Durante 48 horas, debemos de mantener la temperatura mencionada anteriormente, al terminar dicho periodo, observaremos, si existen escurrimientos de ligante en la base de cada probeta. En caso de no escurrirse, aumentaremos la temperatura, hasta 90°C, durante 5 días. Si existiese escurrimiento, dejamos el ensayo y modificamos la emulsión y/o granulometría.
- Enfriamiento de las probetas, durante un periodo de 2 horas, para su posterior desmolde.

FABRICACION, TRANSPORTE Y PUESTA EN OBRA

En lo referente a su fabricación y puesta en obra:

Las mezclas en frio se fabrican con las plantas de aglomerado en frio, salvo en algunas excepciones, donde usaremos plantas de mezclas en caliente. Toda la información recogida en este capítulo, ha sido extraída de la última actualización del PG-3.

Las plantas de aglomerado en frio son económicas y eficaces para esta técnica. Cabe destacar los siguientes elementos:

- ❖ Acopios de árido
- ❖ Tolvas de árido
- ❖ Cintas transportadoras
- ❖ Cajón mezclador
- ❖ Tanque de emulsión
- ❖ Bomba de emulsión

❖ Pulverizadores de emulsión

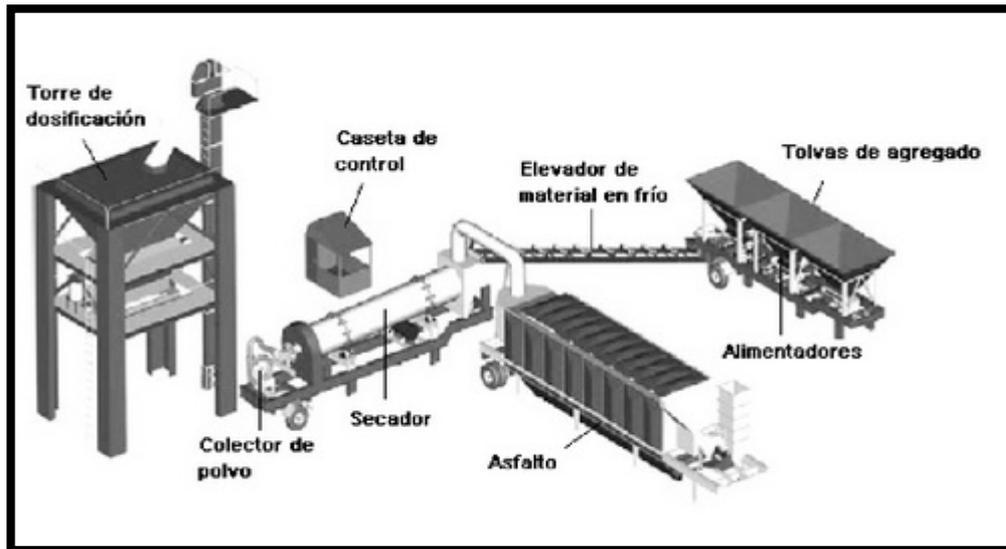


Figura 16: ejemplo de una planta de mezclas en frío (Fuente: maquinaria y construcción.blogspot).

Las plantas modernas de fabricación de Mezclas bituminosas en frío, figura 16, han evolucionado mucho, puesto que, en su mayoría de instalaciones, poseen sistemas de pesada, en línea, y están controladas, desde una cabina de control similar a la de una planta en caliente.

Las plantas modernas de fabricación, permiten fabricar de 100 a 200 t/h de mezcla en frío. Pueden ser transportables o fijas. Poseen una o dos cintas, uno o dos mezcladores, dosificador volumétrico de agua, aditivos y emulsión, entre otras de sus principales características

En lo referente al transporte, se pueden emplear los mismos equipos y procedimientos que los empleados para las mezclas convencionales, aunque si, disponemos de un alto contenido de material reciclado, estas tareas adquirirán un desarrollo más complejo.

Por otro lado, tendremos que tener presente los controles de calidad por lo que si se requiere, debemos de volver a ajustar la dosificación, siendo las operaciones de control, similares a las realizadas con las mezclas convencionales.

En lo referente al procesado y acopio del MBR (mezclas bituminosas recicladas) en planta, debemos de considerar si el material fresado está lo suficientemente homogéneo cuando llega a planta y si su tamaño máximo de árido, cumple las normativas específicas previamente establecidas en el PG-3.

El artículo 22 del PG-3, sobre el reciclado, en central en caliente ,de capas bituminosas específica, que las centrales de fabricación, deberán ser capaces de adicionar durante el proceso de mezcla en caliente, el MBR sin deterioro de los materiales, atendiendo en todo caso a lo dispuesto, en la legislación vigente en materia ambiental.

En las centrales de fabricación continua, con tambor secador-mezclador, los dispositivos añadidos para el reciclado suponen unos cambios mínimos.

La central, deberá disponer de un dispositivo (anillo intermedio con boca de entrada) que permita, la incorporación del MBR tras la llama, de forma que no exista riesgo, de contacto con ella. Los áridos suelen actuar como pantalla y la mezcla antigua, se calienta, por transferencia de calor de éstos.

Se emplearán preferentemente, aquellas centrales, en las que el flujo de áridos, vaya en contra del tiro de humo, o las que tengan doble tambor. Si el flujo de áridos, coincide, con el tiro de humo, no se emplearán, si las cantidades de MBR superan el 25%.

Las centrales discontinuas, deberán estar provistas de un tambor secador independiente, para el MBR, así como de silos, para almacenar en caliente el MBR y un sistema de dosificación ponderal del MBR.

En cualquier caso, los gases producidos durante el calentamiento del MBR deberán ser quemados, durante el proceso, evitando, en todo momento, su emisión a la atmósfera.

Para la puesta en obra, de estas mezclas, se utilizarán los procedimientos y equipos convencionales, debiéndose cumplir las especificaciones del artículo 542 del PG-3 para mezclas bituminosas en caliente.

En segundo lugar, se determina la resistencia a tracción indirecta y el módulo dinámico, de la mezcla, a partir, tanto de, probetas fabricadas en la propia planta, como de testigos extraídos, para su control tras la ejecución de la capa.

2.2.3 ESTRUCTURA DEL FIRME

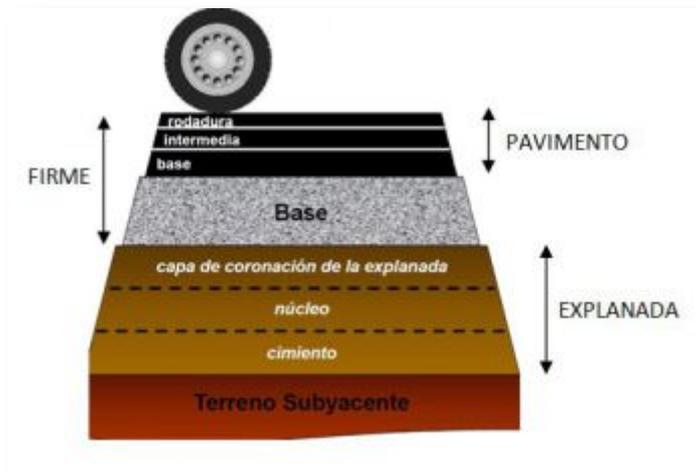


Figura 17: principales capas del firme (Fuente: nuevaingenieria.com).

El firme, es una estructura multicapa, constituida por un conjunto estratificado de capas sensiblemente horizontales, tal y como se aprecia en la figura 17, que se disponen una sobre otra, pudiendo existir diversos tipos de tratamientos, que potencian la adherencia, entre las diversas capas del firme. [7]

Principalmente distinguiremos, cuatro zonas, en la composición del firme, aunque puede ocurrir, que algunas de estas, estén a su vez divididas, en varias zonas o capas, cabe destacar las siguientes:

- ❖ Pavimento: parte superior del firme, la cual se encarga principalmente, de resistir las cargas o sollicitaciones generadas por el tráfico. Es el medio de contacto, entre la capa superior del firme y el vehículo, por lo que, se le responsabiliza, de las características superficiales del firme. Además, dentro de sus funciones, se encarga de absorber los esfuerzos horizontales y gran parte de los verticales.
- ❖ Capas de base y sub-base: dichas capas son situadas desde la parte inferior del pavimento, cuya función es principalmente, resistir y amortiguar, gran parte de las cargas verticales. Estas capas pueden estar compuestas por zahorras naturales o bien, por materiales naturales, acompañados de algún tipo de conglomerante.
- ❖ Capas especiales: las incluiremos cuando nos encontremos, ante circunstancias especiales, en caso de heladas o bien en suelos de mala calidad, entre otros.

- ❖ Explanada mejorada: es la capa más superficial de la obra de tierra, que soporta el firme, estando preparada por sus propiedades para recibirlo.

Cuando nos encontramos con firmes constituidos, por mezclas bituminosas, debemos de añadir una serie de capas, las cuales denominaremos, "capas de espesor cero", formada por riegos asfálticos, los cuales nos ayudaran a crear mayor adherencia del conjunto.

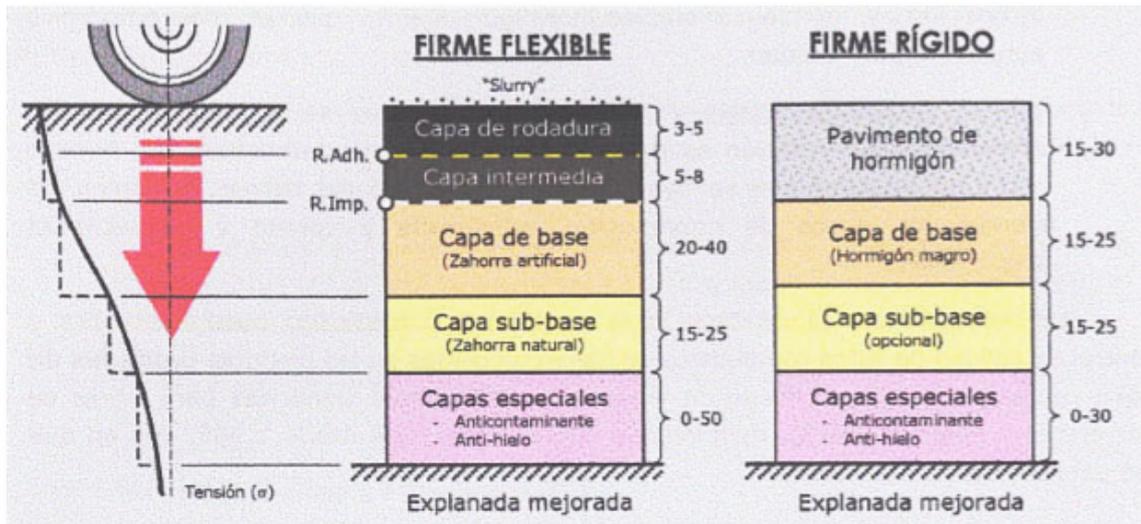


Figura 18: capas genéricas de un firme (Fuente: Luis Bañón Blázquez).

Para poder concluir con este apartado del presente estudio debemos definir con exactitud las capas que forman un firme convencional, de tal forma explicaremos su funcionalidad y sus principales características, por orden creciente de profundidad en cuanto a su colocación sobre el terreno, véase figura 18.

Comenzamos con la capa de rodadura, la cual, al ser la más superficial, es la que está en contacto directo, entre el pavimento y los neumáticos, por ello, es la capa más restrictiva, ya que debe ser muy resistente (capaz de soportar grandes esfuerzos y sollicitaciones verticales generadas por el tráfico, principalmente por el peso y neumáticos), debe de ser impermeable porque en caso contrario, permitiría la entrada del agua y la estructura del firme, sería más susceptible. También, debe ser antideslizante, para lo cual, tendremos unos valores limitados, del coeficiente de resistencia al deslizamiento (longitudinal y transversal) y poder garantizar, de esta forma la seguridad, de todos los usuarios de la carretera, sobre todo, cuando tengamos unas condiciones meteorológicas pésimas.

La capa de rodadura, en última instancia, debe de asegurarnos la durabilidad, que ira en función del tipo de firme (rígido, semirrígido, flexible, semiflexible) aunque generalmente, estará entre 15 y 25 años.

La capa intermedia o “binder”, se encuentra debajo de la capa de rodadura, su objetivo principal es generar, una superficie nivelada y uniforme de apoyo, ya que de esta forma, garantizaremos en el momento de extender la capa de rodadura, un espesor constante. Esta capa, debe de ser resistente, principalmente para soportar los esfuerzos horizontales y evitar que se transmitan a las capas granulares, y duradera.

Para mejorar la adherencia, entre la capa de rodadura y la intermedia podremos añadir, un riego de adherencia, formado por betunes fluidificados, que nos ayudaran a eliminar o reducir las discontinuidades creadas entre ambas capas.

En lo referente a la capa de base, se dispone debajo de la intermedia y su finalidad, es cumplir como principal elemento portante, de la estructura del firme, por lo que debe repartir y absorber las cargas verticales y deberá ser resistente, compacta y duradera.

Existen diferentes tipos de base, en función del tipo de tráfico tales como:

- I. Bases granulares: zahorras (granulometría continua) o macadam (granulometría discontinua).
- II. Bases bituminosas: en caliente o en frio, generalmente de buena calidad.
- III. Bases especiales: su obtención se realiza a través de numerosos procesos industriales (escorias de alto horno, áridos mejorados...).

En firmes bituminosos, se suele dar un riego de imprimación, para mejorar tanto la adherencia como la transmisión de cargas.

La capa sub-base, generalmente es de peor calidad, que las ya mencionadas anteriormente, esto se debe, principalmente, a que no tiene que resistir las cargas excesivas del tráfico, pero posee, una función drenante, que aleja el agua de las capas superiores, para lo cual, usaremos zahorras naturales, con escasos o nulos porcentajes, o contenidos de finos arcillosos. Dicha capa, deberá garantizar, una alta durabilidad.

Por último, la explanada, que a pesar de que en numerosos casos, no se considere perteneciente a la estructura del firme, su función es de vital importancia, ya que le aporta, una base uniforme y de alta calidad portante, siendo desde mi punto de vista, los “cimientos”, de la estructura del firme.

3. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE MEZCLAS SOSTENIBLES

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El objetivo fundamental del presente estudio es realizar una comparación entre una mezcla caliente convencional, una mezcla, que contenga escoria en las tres capas, que componen la mezcla bituminosa y por último, una mezcla, a la cual, añadiremos un porcentaje de escoria en la capa de rodadura, mientras que en la intermedia y en la capa base, mantendremos árido natural.

Con dichos escenarios se pretenderá, realizar una comparación medioambiental, de dichas mezclas, donde estableceremos sus impactos ambientales, cuantificando sus cargas ambientales, desde la cuna hasta la tumba.

La metodología empleada alcanza validez, en todo tipo de mezclas, siendo una aceptable herramienta de gestión ambiental, que nos permitirá, obtener el tipo de mezcla que mejor satisface, las condiciones y los requisitos medioambientales, despreciando los intereses económicos, ya que el presente estudio abarcara exclusivamente ámbitos medioambientales.

3.2 UNIDAD FUNCIONAL

Para el presente estudio, emplearemos, la siguiente geometría y las consiguientes propiedades del tramo, sobre el cual, realizaremos los pertinentes estudios:

- Tramo de carretera ubicado en la A-67, cerca de la localidad de Solares.
- La longitud de dicho tramo es de 1000 metros.

- La categoría de tráfico, corresponde a un T0, por lo que la intensidad media diaria de vehículos pesados al día, estará entre 2000 y cerca de 4000 vehículos pesados al día; propia de una autovía o autopista.
- Vida útil de los escenarios, de aproximadamente unos 20 años.
- La mezcla bituminosa, tendrá un espesor de 20 cm.
- Tramo de carretera, de dos carriles, cada carril tiene un ancho de 3.6 m.

3.3 ESCENARIOS

Previamente a la definición de los escenarios y consiguientes características y propiedades, debemos de enunciar, los materiales, los cuales, van a conformar nuestras mezclas bituminosas.

Principalmente, para la capa de rodadura emplearemos ofita, figura 19, procedente de la cantera de Haro (La Rioja) cuya densidad corresponde con el valor de 2.9 T/m^3 .



Figura 19: ofita. (Fuente: materiales.org)

Para la capa base, e intermedia emplearemos, caliza, figura 20, cuya densidad corresponde con el valor de 2.7 T/m^3 ; dicho árido, será recogido de la cantera Candesa, ubicada en Camargo (Cantabria).



Figura 20: caliza. (Fuente: materiales.org)

Otro de los materiales empleados será la escoria, figura 21, se trata de una escoria de arco eléctrico, la cual, es procesada en la Global Steel Wire (Santander, Cantabria), cuya densidad corresponde con el valor de $3.8T/m^3$.



Figura 21: escoria. (Fuente: materiales.org)

Se empleará betún fabricado por Cepsa, cuya densidad será de $1.035 T/m^3$ y cuyas propiedades y características, junto con el resto de materiales empleados, en dichos escenarios, quedan recogidas en el anejo de materiales.

Cabe destacar que todos los escenarios se dispondrán de la siguiente manera:

TIPO DE CAPA	RODADURA	INTERMEDIA	BASE
MEZCLA	AC-16-S	AC-22-S	AC-32-G

Los husos granulométricos proporcionados por el PG-3, serán los empleados, para la obtención de las densidades, de cada capa de la mezcla bituminosa.

ABERTURA DEL TAMIZ DE 2 mm	TIPO DE MEZCLA	
31-46%	RODADURA	AC16S
31-46%	INTERMEDIA	AC22S
18-32%	BASE	AC32G

Tabla 1: abertura del tamiz de 2 mm según la norma UNE-EN 933-2.

Debido a que tenemos que tener en cuenta el porcentaje de gruesos y de finos de cada mezcla, en los respectivos escenarios del presente documento, hemos establecido, los valor medios de porcentaje de finos, que pasa por el tamiz de 2 milímetros, véase tabla 1, correspondiente a la cantidad de finos que pasan por dicho tamiz, de esta manera, podremos establecer con posterioridad, la densidad de la mezcla y por consiguiente, los m³ que, vamos a rellenar y las toneladas que, necesitaremos en cada escenario, para poder cumplir de esta manera, el objetivo del presente documento.

3.3.1 MATERIALES QUE COMPONEN LA MEZCLA BITUMINOSA

Para poder establecer los materiales que componen la mezcla bituminosa, debemos de enunciar las capas que la conforman, es decir, su capa de rodadura, intermedia y base, nombradas de menor a mayor profundidad.

Nos servimos del pliego de prescripciones técnicas generales (PG-3), en concreto de su tabla 542.9, donde establecemos, el tipo de mezcla, en función, del tipo de ligante y espesor de la capa.

Para establecer el tipo de mezcla nos basamos en la normativa europea, UNE-EN 13108-1.

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	ESPESOR (cm)
	DENOMINACIÓN. NORMA UNE-EN 13108-1(*)	
RODADURA	AC16 surf D AC16 surf S	4 – 5
	AC22 surf D AC22 surf S	> 5
INTERMEDIA	AC22 bin D AC22 bin S AC32 bin S AC 22 bin S MAM (**)	5-10
BASE	AC32 base S AC22 base G AC32 base G AC 22 base S MAM (***)	7-15
ARCENES(****)	AC16 surf D	4-6

(*) Se ha omitido en la denominación de la mezcla la indicación del tipo de ligante por no ser relevante a efectos de esta tabla.

(**) Espesor mínimo seis centímetros (6 cm).

Figura 22: tipo de mezcla a utilizar en función del tipo y espesor de la capa (Fuente: PG-3)

El espesor establecido, el cuál, queda recogido en la figura 22, es de 5 centímetros, para la capa de rodadura, 6 centímetros para la capa intermedia y 9 centímetros para la capa base; teniendo en cuenta, que la categoría de tráfico es TO, por lo que circularan por nuestra carretera entre 3999 y 2000 vehículos pesados al día y suponiendo, una explanada cuya categoría es de tipo E3; por lo tanto la mezcla bituminosa según el PG-3, tiene un espesor de 20 centímetros.

Se trata de una mezcla bituminosa en caliente, cuya capa de rodadura, contiene una mezcla AC-16-surf-50/70-S, por la cual, pasa un 100% de árido, por el tamiz correspondiente a 16 milímetros, mientras que, el resto, estarán conformadas por una AC-22-surf-s, y por una AC-32-surf-d, respectivamente.

En lo referente, al contenido del ligante, se trata de un ligante hidrocarbonado 50/70 que cumple las especificaciones técnicas, del artículo 211 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales, para Obras de Carreteras y Puentes.

La capa de rodadura, tendrá un contenido de ligante, correspondiente al 4.5% de la mezcla mientras que la capa intermedia y la capa base, tendrán un contenido de ligante correspondiente al 4%, dichos contenidos quedan establecidos y recogidos en el PG-3, véase la figura 23, basándonos en el contenido mínimo de ligante, puesto que, no hemos realizado ensayos reales, sobre los escenarios y por lo tanto, todos los datos que nos sean necesarios para cumplir, la óptima realización del presente estudio, serán recogidos y aportados por nuestra norma; el PG-3.

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	DOTACIÓN MÍNIMA (%)
RODADURA	densa y semidensa	4,50
INTERMEDIA	densa y semidensa	4,00
	alto módulo	4,50
BASE	semidensa y gruesa	4,00
	alto módulo	4,75

(*) Incluidas las tolerancias especificadas en el epígrafe 542.9.3.1. Si son necesarias, se tendrán en cuenta las correcciones por peso específico y absorción de los áridos.

Figura 23: dotación mínima de ligante. (Fuente: PG-3)

3.3.2 DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE VIDA EN CADA ESCENARIO

El ciclo de vida de la capa menos profunda, de la correspondiente mezcla bituminosa, es decir, de la capa de rodadura, se clasifica principalmente en 5 etapas, figura 24, las cuales son las únicas que generan efectos o impactos sobre el medio ambiente, dichas etapas, son las siguientes:

- Diseño, dicha fase, no se tendrá en cuenta, debido a que el análisis se realiza desde la cuna hasta la tumba, por lo que, esta fase, es excluida.
- Construcción, correspondiente con el año 0.
- Uso, desde el año 0 hasta el año 20.

- Conservación y mantenimiento; fresado y reposición de la capa de rodadura (año 10)
- Rehabilitación del firme; fresado y reposición de las capas bituminosas (año 20).



Figura 24: etapas del ciclo de vida que generan impactos en el medio ambiente.

La fase de construcción, figura 25, incluye además de la fabricación, de materias primas y mezcla bituminosa, el transporte y empleo de equipos y maquinaria; cuya información, quedo definida en el capítulo anterior.



Figura 25: Fases realizadas durante la etapa de construcción.

Debemos de explicar, cada una de estas etapas, comenzando, con la fase de construcción, donde empezaremos, como con cualquier producto, con la extracción y el procesado, de las materias primas, de la capa de rodadura ejecutada, con la mezcla asfáltica; siendo dichas materias primas, en este primer escenario, los áridos y el correspondiente ligante bituminoso.

Los áridos son extraídos de la cantera y son transportados, a la planta, donde se les realizan los respectivos procesos de machaqueo y lavado, los cuales, finalizarán, cuando se obtengan las propiedades y características establecidas; cumpliendo, de esta manera, con el objetivo del presente estudio.



Figura 26: esquema interno de la fase de mantenimiento y construcción.

De esta fase cabe destacar, que el transporte, incluye tanto, el transporte de la planta a la obra, como, de la obra a la planta de reciclado, sucediendo lo mismo en el esquema interno de la rehabilitación superficial, el cual se muestra a continuación, figura 27:

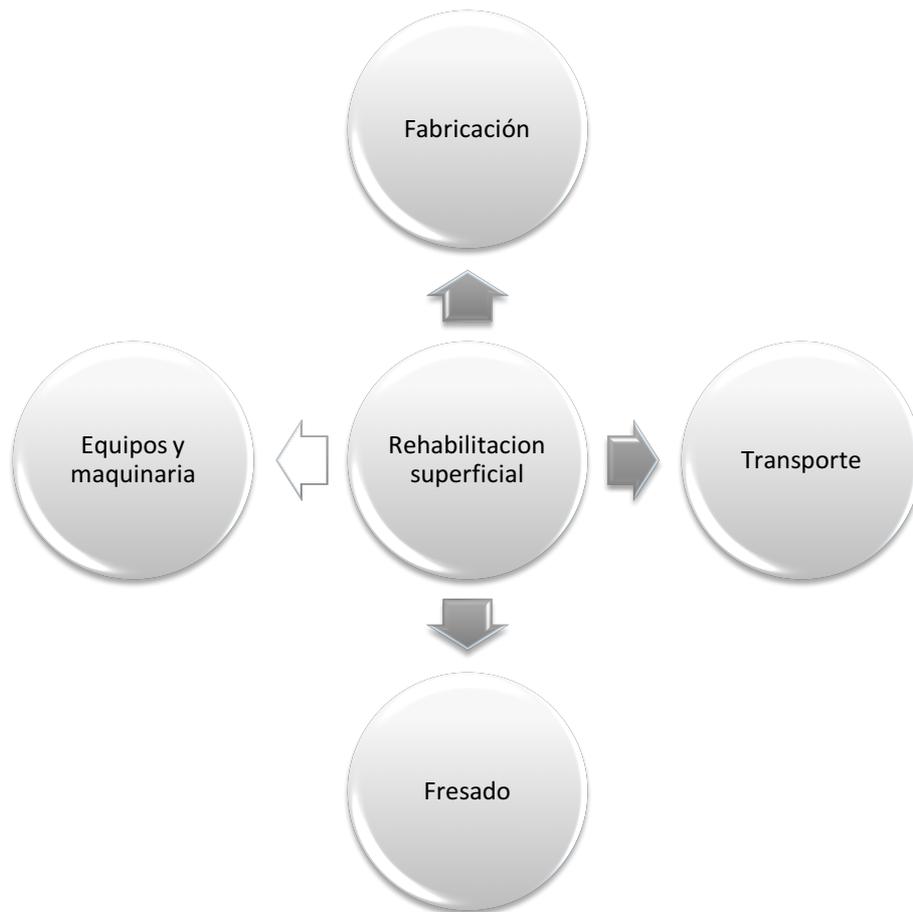


Figura 27: esquema interno de la fase de rehabilitación superficial.

Cabe destacar, que las últimas etapas del ciclo de vida, son la Conservación y Mantenimiento de la capa de rodadura, junto con la Rehabilitación Superficial, la cual añade e incluye, el fresado del asfalto envejecido.

Para beneficiar el tratamiento de conservación y mantenimiento, se hace especial alusión, a que debemos de añadir, un riego, que genere adherencia, entre la capa de rodadura y la superficie, en el fresado de la zona afectada, de esta manera, aumentaremos, la adhesividad entre partículas.

Pasadas o cumplidas estas etapas, se alcanza el fin de vida, figura 28, cumpliendo con el fresado y posterior transporte del asfalto ya envejecido a la planta.

Otra de las opciones de que disponemos, es el envío a vertedero del RAP, pero en este caso, suponemos que todo el RAP es enviado, a la planta asfáltica, para su posterior uso, en otras obras de carretera.



Figura 28: etapa final del ciclo de vida del producto.

Por otro lado, el ligante bituminoso, debido a que proviene del petróleo, debe ser sometido, previamente a su uso, a un proceso de refinado.

El transporte de las materias primas, hasta la planta de producción, de mezclas asfálticas, estará delimitado y condicionado, por el medio de transporte que empleemos.

Después de disponer, todos los materiales, en la planta de fabricación de asfalto, podremos concluir, la fase de transporte y comenzar, con la fase posterior, conocida como fase de mezclado.

Debemos transportar la mezcla, desde su planta asfáltica hasta el lugar, donde vamos a realizar la obra en cuestión; por lo que, los camiones o medios de transporte, que empleemos, son fundamentales en el buen funcionamiento, progreso y evolución del ciclo de vida de nuestra carretera.

Según la normativa que se establece en el PG-3, la mezcla bituminosa, es transportada por camiones de caja lisa, abierta y estanca, perfectamente limpia, hasta nuestro tramo de carretera.

Para el extendido, emplearemos una extendedora autopropulsada.

En lo referente a la compactación, dispondremos, de dos equipos, por un lado, emplearemos un compactador vibratorio, de rodillos metálicos o mixtos, que se encargará, principalmente, del árido grueso.

Por otro lado, haremos uso, de un compactador de neumáticos, el cual, nos servirá para retirar o quitar, los defectos superficiales, que aparecen en la superficie de nuestra capa de rodadura, los cuales, se forman durante la fase de uso. Todos los compactadores, deberán ser autopropulsados.

Las presiones que aparecen, debidas al contacto entre el compactador y la superficie, de la capa de rodadura, de la respectiva mezcla bituminosa, serán las necesarias para poder obtener una densidad adecuada y homogénea de la mezcla, a lo largo de todo su espesor. Evitando en todo momento, la frecuente aparición de fragmentaciones, de áridos, o arrollamientos, de la mezcla a la temperatura de compactación.

En lo referente a la renovación superficial del tramo, la cual, se llevará a cabo a los 10 años, deberá considerarse y podrá ser justificado, si se producen cualquiera de las situaciones o circunstancias enumeradas a continuación:

- No siendo necesaria, la rehabilitación estructural, pero la superficie de rodadura de nuestro pavimento, presenta tolerancias o defectos, que afectan a las condiciones, del proyecto y por tanto, a la seguridad y comodidad de los usuarios. Podríamos considerar como tales defectos:
 - ❖ Pavimento deformado longitudinal o transversalmente.
 - ❖ Pavimento deslizante.
 - ❖ Pavimento fisurado o fracturado.
- Tramos inferiores a 200 metros.
- Aparición de circunstancias, durante la ejecución del tramo, donde nos vemos obligados, a establecer una conservación preventiva.

Tras establecer que se debe de hacer el mantenimiento, de la capa de rodadura de un firme, debemos de cumplir, las siguientes etapas, figura 29:

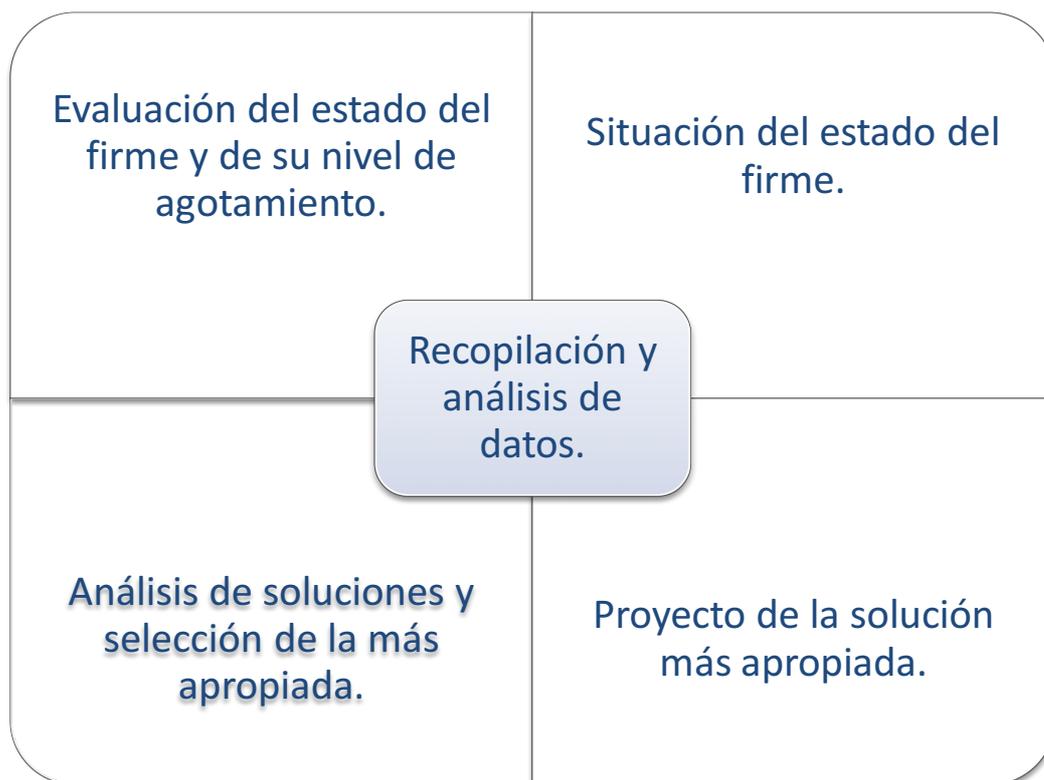


figura 29: etapas de la recopilación y análisis de datos.

Durante la ejecución de dicha fase, figura 29, tanto la selección de la solución más apropiada, como la creación del proyecto, se realizarán, sobre cada uno de los tramos homogéneos, que realicemos, siendo en nuestro caso, un único tramo de 1000 metros de longitud y 3.6 metros de anchura de carril, mientras que el espesor de la capa de rodadura de nuestro firme de 6 centímetros.

Por último, se ha establecido que a los 20 años, de la construcción del tramo de carretera, tendremos que realizar, la eliminación parcial de la mezcla bituminosa al completo y posterior, retirada del firme y fresado, para su posterior reposición, mediante medios mecánicos, manteniendo el espesor de la mezcla bituminosa.

La eliminación parcial y reposición del firme, se realizará, sobre todas las zonas y capas del firme, que hayan sido dañadas, estructuralmente o bien, que sufran un agotamiento estructural.

Para delimitar la superficie y profundidad, que ha sido afectada y sometida a cargas, las cuales, han generado, su posterior debilitamiento, nos fijaremos, inicialmente, en los valores de la deflexión patrón y, en los resultados obtenidos, tras la realización, de una amplia y justificada inspección visual.

La aparición del agotamiento estructural, será evaluada, a partir de los agrietamientos, que vayan apareciendo, durante la vida del firme. Conocida su profundidad, extraeremos muestras de testigos y ejecutaremos calicatas, escalonadas capa a capa.

Durante el proceso de eliminación, y posterior reposición del firme, dependeremos principalmente, de la profundidad del agrietamiento y por lo tanto, se realizará, hasta la capa del firme, que no presente el agrietamiento estructural.

Tras realizar el riego, extendemos y compactamos, con un compactador vibratorio provisto de neumáticos o mixto y con otro compactador, de neumáticos.

La rehabilitación o renovación superficial, de un tramo de carretera, podrá ser justificado, por causas similares, a las que se detallaron, durante la definición de los procedimientos de la fase de conservación y mantenimiento.

Tras la determinación de la ejecución, de la fase de rehabilitación superficial, con su pertinente y elaborada justificación, la solución escogida, deberá contener las mismas etapas, que las que se realizan durante la fase de conservación.

3.3.3 ESCENARIO 1

Para este escenario, emplearemos, ofita, en la capa de rodadura y en el resto de capas, usaremos caliza, la cual posee una mayor resistencia y un mayor deslizamiento.

Se trata de una mezcla bituminosa en caliente, cuya capa de rodadura, contiene una mezcla AC-16-surf-50/70-S, por la cual pasa un 100% de árido por el tamiz correspondiente a 16 milímetros, mientras que, el resto, estarán conformada por una AC-32-surf-50/70.

La capa de rodadura, estará formada, por un material denominado, ofita, correspondiente a la fracción gruesa, de dicha capa, por otro lado, la fracción fina, correspondiente a la capa de rodadura, estará conformada por árido natural; también conocido como, caliza.

La capa intermedia y la base, de nuestra correspondiente mezcla bituminosa, estarán compuestas, por un material denominado caliza.

A continuación, se muestra la tabla 2, con los datos obtenidos, tras la realización de los cálculos pertinentes, que nos han permitido hallar, las toneladas de cada capa de mezcla bituminosa y por lo tanto las toneladas totales de la mezcla.

ESCENARIO 1			
CAPAS DE LA MEZCLA BITUMINOSA	capa de rodadura	capa intermedia	capa base
MATERIALES	árido grueso: ofita	caliza	caliza
	árido fino: caliza		
PORCENTAJE DE HUECOS	4,00%	4,00%	4,00%
PORCENTAJE DE BETUN	4,50%	4%	4%
DENSIDAD DE MEZCLA(T/m3)	2,525	2,448	2,448
PORCENTAJE DE FINOS	31%	31%	25%
TONELADAS	909	1057,540	1580,300
TONELADAS TOTALES	3546,840		

Tabla 2: características generales del escenario 1.

3.3.4 ESCENARIO 2

El escenario 2 estará compuesto por una mezcla bituminosa que muestra las siguientes características:

- Capa de rodadura: árido grueso compuesto por escoria y árido fino compuesto por caliza.
- Capa intermedia: árido grueso compuesto por escoria y árido fino compuesto por caliza.
- Capa base: árido grueso compuesto por escoria y árido fino compuesto por caliza.

Nos servimos del pliego de prescripciones técnicas generales (PG-3), en concreto de su tabla 542.9 donde, establecemos el tipo de mezcla, en función del tipo de ligante y espesor de la capa. Para establecer el tipo de mezcla nos basamos en la normativa europea, UNE-EN 13108-1.

Se trata de una mezcla bituminosa en caliente, cuya capa de rodadura contiene una mezcla AC-16-surf-50/70-S, por la cual pasa un 100% de árido por el tamiz correspondiente a 16 milímetros, mientras que el resto estarán conformada por una AC-32-surf-50/70.

En lo referente al contenido del ligante, se trata de un ligante hidrocarbonado 50/70 que, cumple las especificaciones técnicas, del artículo, 211, del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes.

La capa de rodadura tendrá, un contenido de ligante, correspondiente al 4.5% de la mezcla mientras que, la capa intermedia y la capa base, tendrán un contenido de ligante correspondiente al 4%, dichos contenidos quedan establecidos y recogidos en el PG-3, basándonos, en el contenido mínimo de ligante puesto que, no hemos realizado ensayos reales sobre los escenarios y por tanto, todos los datos que nos sean necesarios para cumplir la óptima realización del presente estudio, serán recogidos y aportados por nuestra norma; el PG-3.

A continuación, en la tabla 3, se recogen las características de la mezcla bituminosa y las toneladas obtenidas en dicho escenario.

ESCENARIO 2

CAPAS DE LA MEZCLA BITUMINOSA	capa de rodadura	capa intermedia	capa base
MATERIALES	árido grueso: escoria	árido grueso: escoria	árido grueso: escoria
	árido fino: caliza	árido fino: caliza	árido fino: caliza
PORCENTAJE DE HUECOS	4,00%	4,00%	4,00%
PORCENTAJE DE BETUN	4,50%	4%	4%
DENSIDAD DE MEZCLA(T/m3)	3,008	3,030	3,030
PORCENTAJE DE FINOS	31%	31%	25%
TONELADAS	1082,9	1309	1963,44
TONELADAS TOTALES	4355,34		

Tabla 3: características generales del escenario 2.

3.3.5 ESCENARIO 3

El escenario 3 estará compuesto por una mezcla bituminosa que muestra las siguientes características:

- Capa de rodadura: árido grueso compuesto por escoria y árido fino compuesto por caliza.
- Capa intermedia: árido grueso compuesto por caliza y árido fino compuesto por caliza.
- Capa base: árido grueso compuesto por caliza y árido fino compuesto por caliza.

Nos servimos del pliego de prescripciones técnicas generales (PG-3), en concreto, de su tabla 542.9, donde establecemos, el tipo de mezcla, en función del tipo de ligante y espesor de la capa. Para establecer el tipo de mezcla, nos basamos en la normativa europea, UNE-EN 13108-1. El espesor establecido es de 5 centímetros, para la capa de rodadura, 6 centímetros, para la capa intermedia y 9 centímetros, para la capa base; teniendo en cuenta que la categoría de tráfico es TO, por lo que circularan, por nuestra carretera entre 3999 y 2000 vehículos pesados al día y suponiendo, una explanada, cuya categoría es de tipo E3; por lo tanto la mezcla bituminosa según el PG-3 tiene un espesor de 20 centímetros.

Se trata de una mezcla bituminosa en caliente, cuya capa de rodadura, contiene una mezcla AC-16-surf-50/70-S, por la cual pasa un 100% de árido por el tamiz correspondiente a 16 milímetros, mientras que el resto, estarán conformada, por una AC-32-surf-50/70. En lo referente al contenido del ligante, se trata de un ligante hidrocarbonado 50/70 que cumple las especificaciones técnicas, del artículo 211 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes.

La capa de rodadura, tendrá un contenido de ligante, correspondiente al 4.5% de la mezcla mientras que la capa intermedia y la capa base tendrán un contenido de ligante, correspondiente al 4%, dichos contenidos, quedan establecidos y recogidos en el PG-3, basándonos en el contenido mínimo de ligante, puesto que, no hemos realizado ensayos reales sobre los escenarios y por tanto, todos los datos que nos sean necesarios, para cumplir la óptima realización del presente estudio, serán recogidos y aportados por nuestra norma; el PG-3.

A continuación, se muestra la tabla 4, donde se recogen, las características de la mezcla bituminosa y las toneladas obtenidas en dicho escenario.

ESCENARIO 3			
CAPAS DE LA MEZCLA BITUMINOSA	capa de rodadura	capa intermedia	capa base
MATERIALES	árido grueso: escoria	árido grueso: caliza	árido grueso: caliza
	árido fino: caliza	árido fino: caliza	árido fino: caliza
PORCENTAJE DE HUECOS	4,00%	4,00%	4,00%
PORCENTAJE DE BETUN	4,50%	4%	4%
DENSIDAD DE MEZCLA(T/m3)	3,035	2,448	2,448
PORCENTAJE DE FINOS	31%	31%	25%
TONELADAS	1082,9	1057,54	1586,3

TONELADAS TOTALES	3726,740
--------------------------	----------

Tabla 4 : características generales del escenario 3.

3.4 INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA

El inventario del ciclo de vida del producto, es un proceso, de recopilación de datos, que se sirve de cálculos y estimaciones, para poder posteriormente, cuantificar las entradas y salidas del sistema, es decir, materiales, combustibles, energía y contaminantes.

Para ello, emplearemos el programa GABI 6.0, para lo cual, necesitaremos los datos necesarios, de cada fase del ciclo de vida, ya que si no disponemos de dichos datos, no podríamos, obtener, el total de energía y emisiones de CO₂ asociados, a la generación de dichos impactos.

Extracción y/o procesado de material

En lo referente a los datos que necesitamos para determinar el consumo total en litros de combustibles, entendiendo por tal, diésel, gases, emisiones, entre otros y el consumo eléctrico en MJ,kWh; en caso de que fuese necesario. Debemos de establecer lo siguiente:

- Debido a que la producción del árido, consiste principalmente en la extracción de la roca de la cantera y su posterior machaqueo, cribado, lavado, incluyendo transporte interno, podemos estimar, que la producción de áridos consume en torno a 21.19MJ/tonelada de electricidad y 16.99MJ/tonelada de diésel (fuente: Strippe,2001). Estos datos los introduciremos posteriormente en el software GABI 6.0 para evaluar el impacto ambiental del consumo de esta energía a lo largo del ciclo de vida de la capa de mezcla asfáltica del firme.

Producción de escoria

Necesitamos los mismos datos ,que los establecidos, en la extracción y/o procesado del material; la escoria de arco eléctrico, es un árido sintético que se obtiene como subproducto en la fabricación del acero.

Las principales etapas del procesado de la escoria de arco eléctrico, para producir árido siderúrgico de calidad, el cual, puede ser empleado en mezclas bituminosas, son las siguientes:

- Separación de la chatarra de acero.
- Separación de las impurezas del acero.
- Cribado.
- Machaqueo

Durante la producción, de los áridos siderúrgicos, se consumen 8MJ/tonelada de electricidad y 11.7MJ/tonelada de diésel (fuente: Nouvion et al.2009). Dichos datos, serán introducidos en el software GABI 6.0 para evaluar el impacto ambiental, del consumo de esta energía a lo largo del ciclo de vida del pavimento.

Producción de betún

El betún asfáltico, se obtiene por destilación directa, del crudo del petróleo. Las principales etapas de la producción del betún incluyen:

- Extracción del petróleo.
- Transporte del crudo.
- Destilación.
- Refinado.
- Almacenado.

El impacto de la producción de betún, se ha obtenido directamente, del análisis de inventario, llevado a cabo por Euro bitume; asociación de productores del betún.

Estos datos correspondientes a la producción del betún han sido añadidos o incluidos a la base de datos del software GABI 6.0 para poder emplearlos durante la evaluación del ciclo de vida de nuestros escenarios.

Transporte de materias primas

Para la correcta elaboración, del ciclo de vida de los diferentes escenarios, debemos de tener en cuenta, que la mezcla bituminosa se conforma en su planta de tratamiento, tras el correcto transporte de todas las materias primas, que la conforman, desde cada una de las plantas, de sus plantas asfálticas, hasta que sean mezcladas en la planta asfáltica.

El impacto ambiental del transporte, de materias primas y productos, está relacionado principalmente, con el consumo de combustible y las emisiones derivadas, del quemado de dicho combustible.

El inventario asociado al transporte, con camión, viene ya incluido, en la base de datos del GABI 6.0. En esta base de datos existen varios inventarios, en función del tipo y tamaño del camión; por lo que para este estudio, se ha seleccionado un camión diesel cuya capacidad es de 23 toneladas; regido por la normativa Europea.

Por otro lado, para el cálculo del impacto ambiental asociado, al transporte, tanto de las materias primas, como de la mezcla asfáltica o del RAP, en la etapa de rehabilitación, es necesario fijar, además de las toneladas a transportar; las distancias entre los diferentes puntos de interés:

- Distancia entre la cantera (caliza) y la planta asfáltica: 20 km.
- Distancia entre la cantera (ofita) y la planta asfáltica: 200 km.
- Distancia desde la acería hasta la planta asfáltica: 20 km.
- Distancia desde la planta asfáltica hasta la obra: 20 km.

En lo referente a las toneladas a transportar, varían en función del escenario en que nos encontremos:

- Para el escenario 1 necesitamos un total de 909 toneladas para la capa de rodadura, 1057.54 toneladas para la capa intermedia y 1586.3 toneladas para la capa base.
- Para el escenario 2 necesitamos 1082.9 toneladas para la capa de rodadura, 1309 toneladas para la capa intermedia y 1963.44 toneladas para la capa base.
- Para el escenario 3, siendo dicho escenario una combinación de los dos escenarios anteriores; necesitamos 1082.9 toneladas para la capa de rodadura, 1057.54 toneladas para la capa intermedia y 1586.3 toneladas para la capa base.

Producción en planta asfáltica

Para poder llevar a cabo esta operación, debemos de tener en cuenta los consumos de combustible, del tambor secador, el consumo eléctrico de las cintas, el consumo de diésel de la maquinaria interna; (cargadoras, extendedoras, compactadoras) lo cual ha sido establecido en un 2.2 MJ/tonelada.

El proceso convencional, de la fabricación de mezcla asfáltica, consiste en el secado y calentamiento de los áridos a una temperatura de entre 170 y 190⁰C, el calentamiento del betún se realizara a la temperatura establecida generalmente por el fabricante, cuyo rango oscila normalmente entre 150 y 160⁰C; finalmente se realizara la mezcla de ambos materiales.

Durante dicho proceso de fabricación, se consumen combustibles, como el fuel oil o gas natural para el calentamiento de los áridos y el betún, diésel y electricidad, durante el transporte interno, y durante, el buen funcionamiento de la planta.

El proyecto ALTERPAVE estima que, durante la fabricación de la mezcla asfáltica, se consumen entorno a 264MJ/tonelada de fuel oil; 37.3 MJ/tonelada de electricidad y 9.3 MJ/tonelada de diésel.

Dichos datos serán incluidos, en la base de datos de nuestro software, para poder establecer y evaluar, el impacto ambiental generado, a lo largo del ciclo de vida de nuestros escenarios.

3.5 EVALUACION DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA

Tras la correcta realización del inventario, llevamos a cabo, la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida, para poder calcular y establecer, de una forma óptima, los impactos producidos, y por lo tanto, estableceremos, los indicadores ambientales.

La parte final de esta etapa, abarca la evaluación de los resultados obtenidos, en el inventario, para lo cual, emplearemos indicadores ambientales, que nos permitirán, comprender con exactitud, los datos de dicha fase.

Los indicadores de impacto, empleados para la ejecución del presente estudio y obtenidos mediante el software GABI, han sido los siguientes:

- Monóxido de carbono (CO), sustancia que genera un gran riesgo, de inhalación, por lo que sus concentraciones, son capaces de generar daños en el buen funcionamiento del sistema interno, de los seres vivos y en el caso del ser humano, puede ocasionar mareos, náuseas, dolor de cabeza, vértigo e incluso vértigo. Es importante la cantidad ingerida de esta sustancia, ya que la proliferación, de la concentración, de este producto, podría ocasionarnos incluso daños, en el sistema nervioso y cardiovascular. Debido a que esta sustancia, es muy sensible, a la inflamación, generara grandes impactos ambientales, en caso de permanecer, en contacto, con sustancias como el oxígeno, cloro o aceite entre

otros; por lo que tiende a generar, gases o humos contaminantes o incluso incendios. En última instancia, si se produce dicha combinación, podría provocar daños irreparables en la flora y la fauna.

- Calentamiento global (kg CO₂), el dióxido de carbono, junto con otros gases derivados del quemado de combustibles fósiles, provocan, un aumento en la temperatura de la tierra. La ciencia, le da una especial importancia, en cuanto al aumento de este daño, ya que puede generar, y está generando, daños irreparables, en nuestro ecosistema y entorno.
- Acidificación del aire (kg de SO₂), lo cual podría definirse, como la imposible recuperación de la capacidad neutralizante, del suelo y del agua. Las emisiones naturales, de algunos agentes, como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, entre otros, pueden reaccionar, en contacto con radicales hidroxilos o con el vapor de agua, convirtiéndose en última instancia en ácido sulfúrico y nítrico; respectivamente. Posteriormente, son disueltos, en las gotas de agua existentes, en la atmosfera y podrán volver a la superficie, convertidos en precipitaciones y generando, un daño medioambiental, conocido como lluvia acida. Dicha precipitación, podrá presentarse de forma líquida, sólida o incluso como niebla, cuyos daños, al medioambiente, serán similares.
- Eutrofización del agua, producida principalmente, por el exceso o abundancia de nutrientes dentro de un ecosistema, dicha proliferación de nutrientes, produce de manera general, un aumento de la biomasa y un encarecimiento de la biodiversidad. La contaminación atmosférica generada por este fenómeno, se da, debido a, la reacción de óxidos de nitrógeno y azufre, los cuales, llegan al suelo formando sales solubles, fácilmente arrastradas a los acuíferos y a los ríos, desembocando en una fácil contaminación, de lagos o mares en última instancia.
- Energía consumida (MJ), asociada a las fuentes de energía, no renovables cuyas unidades, serán obtenidas mediante el GABI 6.0 en mega julios, aunque, posteriormente tras la correcta obtención del balance de todos los impactos y recursos, que aparecen a lo largo del ciclo de vida de cada escenario, podremos adaptar todas las unidades. Para poder establecer, dicha cantidad de energía, no solo tenemos en cuenta la producida, en los procesos de electricidad o quemado de combustibles, durante el proceso del ciclo de vida ,sino que, también consideraremos, la energía necesaria, para poder producir dichos combustibles (petróleo, gas natural...), o la energía necesaria, para poder llevar

a cabo la fase de fresado, durante la ejecución del ciclo de vida de los correspondientes escenarios, dicha energía, es expresada en valor calórico neto, e incluirá todos los consumos de las fuentes no renovables.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CICLO DE VIDA Y PROCESOS DE CADA UNO DE LOS ESCENARIOS

Para poder establecer con exactitud los recursos, emisiones y categorías de impacto que aparecen, en los diversos ciclos de vida, de los correspondientes escenarios; nos servimos del programa GABI 6.0; el cual, es una de las principales herramientas, para realizar ACV entre otros, para lo cual, comenzaremos, redefiniendo todo el ciclo de vida, de cada capa de las respectivas mezclas bituminosas, necesarias en cada escenario.

El inicio de dicho ciclo, comienza con la elaboración de la etapa, correspondiente a las materias primas, para lo cual, crearemos un proceso en la base de datos, de nuestro programa, con los diferentes materiales, que conforman cada uno de nuestros escenarios, es decir, ofita, betún, caliza y escoria; seguido del consumo de energía, diésel y electricidad necesaria, para poder llevar a cabo dicho proceso, por lo cual, dentro de este apartado, incluiremos los transportes realizados desde y hasta, la planta asfáltica, donde se elaborará nuestra mezcla bituminosa. Dicho proceso queda expuesto a continuación:

Materias primas - rodadura - esc 1

Diagrama proceso GaBi/Magnitudes de referencia
Se muestran los nombres de los procesos básicos.

Selection: M

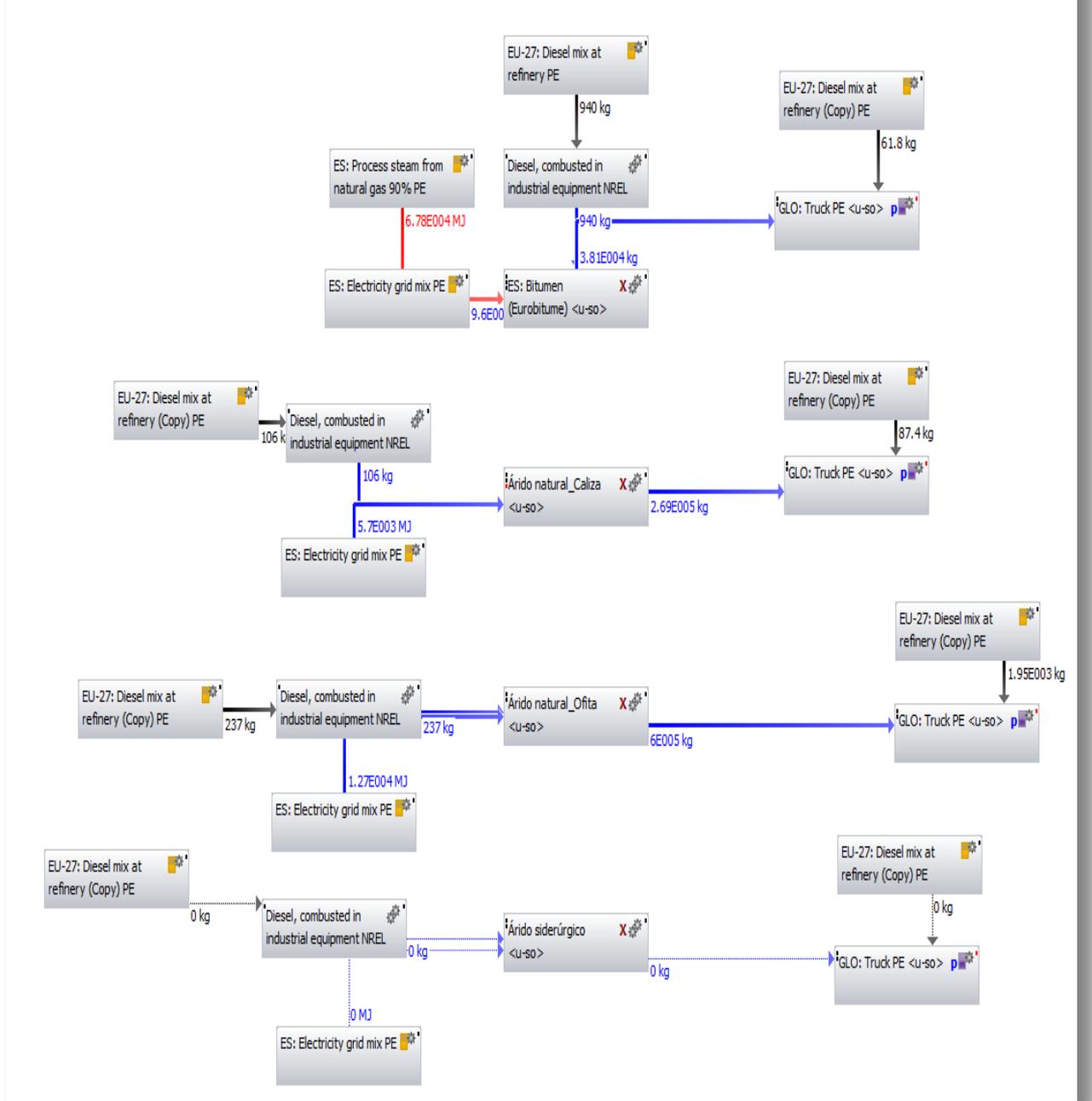


Figura 30: proceso que rigen las materias primas de cada uno de los escenarios. (Se muestra escenario 1)

Como se puede apreciar en dicha imagen, la cantidad de árido siderúrgico, escoria, es nula puesto que en el escenario 1 solo disponemos de caliza y ofita para la capa de rodadura. Haremos lo mismo para los consiguientes escenarios, anularemos las toneladas y/o materiales que no aparezcan e incluiremos las toneladas de materiales de cada escenario, previamente

calculadas para cada una de las capas de la mezcla bituminosa; las cuales serán incluidas en este proceso para poder determinar tanto los recursos y/o emisiones, como los impactos tras la correcta realización del balance con el programa GABI 6.0.

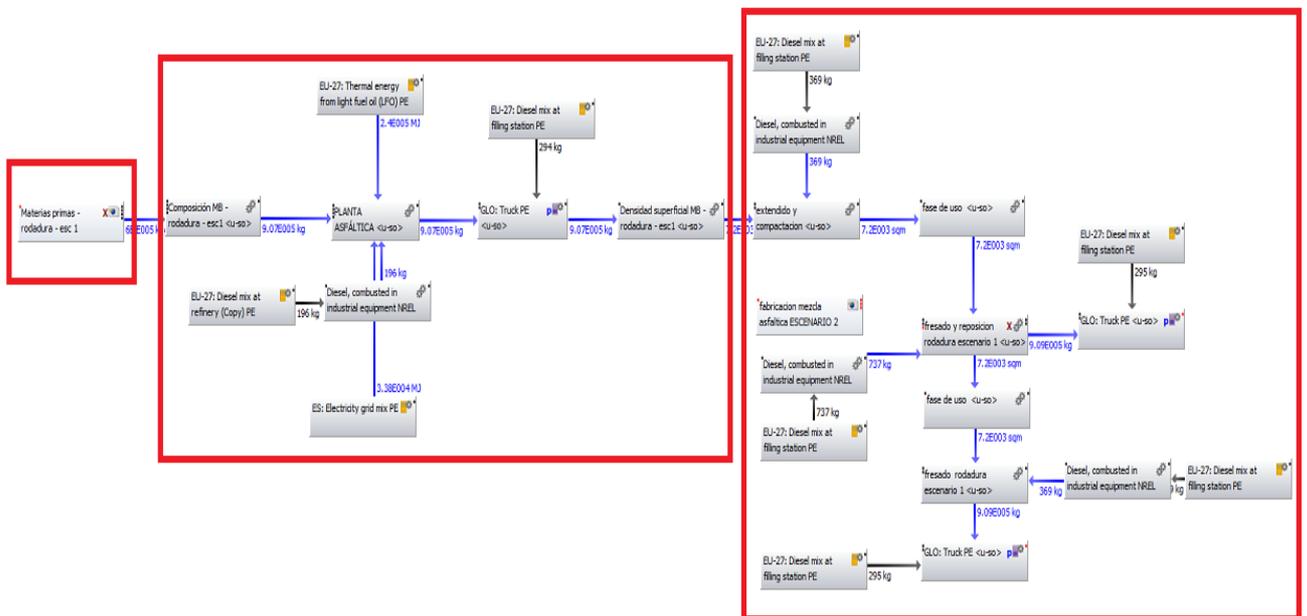


Figura 31: ciclo de vida de la capa de rodadura, realizado con el programa GABI 6.0. (Se muestra escenario 1)

La figura 30, nos muestra, la correcta elaboración del ciclo de vida de la capa de rodadura, proceso que debe llevarse a cabo en cada uno de los escenarios. Tras la creación del proceso de materias primas, la mezcla, será transportada a la correspondiente planta asfáltica, por lo que, se generara un consumo de energía, diésel y electricidad, que como vemos, deben de ser incluidos en este proceso, junto con las correspondientes distancias de transporte; ya mencionadas con anterioridad. Debido a que las materias primas, no tienen las mismas cantidades, en cada uno de los escenarios; tendremos que crear, un proceso, el cual, denominaremos composición de la mezcla bituminosa, que incluirá las cantidades exactas de cada una de las capas de la mezcla bituminosa, cuya entrada corresponderá con el proceso de las materias primas, mientras que, su salida será enlazada con la planta asfáltica.

Para cada capa de mezcla, tendremos una densidad superficial de mezcla bituminosa, por lo que, tendremos que tener dicho proceso, para cada una de las capas de cada uno de los escenarios; estos datos, ya fueron aportados con anterioridad. (Apartado 3.3 del presente estudio)

Cuando llegamos a la etapa, correspondiente al extendido y compactación, debemos de tener en cuenta que, para que pueda llevarse a cabo, necesitamos disponer del consumo de la maquinaria empleada, tanto diésel como energía.

En lo correspondiente al fresado y reposición, debemos de crear, en cada capa, dicho proceso puesto que se ha establecido, que la capa de rodadura, tendrá una vida útil de unos 10 años mientras que, la capa intermedia y la base serán retiradas a los 20 años, desde el inicio de la carretera. Para poder establecer, de manera óptima, el posterior balance de cada capa de mezcla bituminosa, tendremos que considerar los consumos de energía, electricidad y diésel que se generan para su completa ejecución.

Tras la retirada de los materiales (de los 20 cm de mezcla bituminosa), enviaremos el material, a una planta asfáltica, para su posterior reciclado. Hemos analizado si enviando a un vertedero de materiales, dichas toneladas de material, generaríamos menos impactos, lo cual se mostrará con posterioridad.

En lo referente a la capa intermedia realizaremos el siguiente proceso:

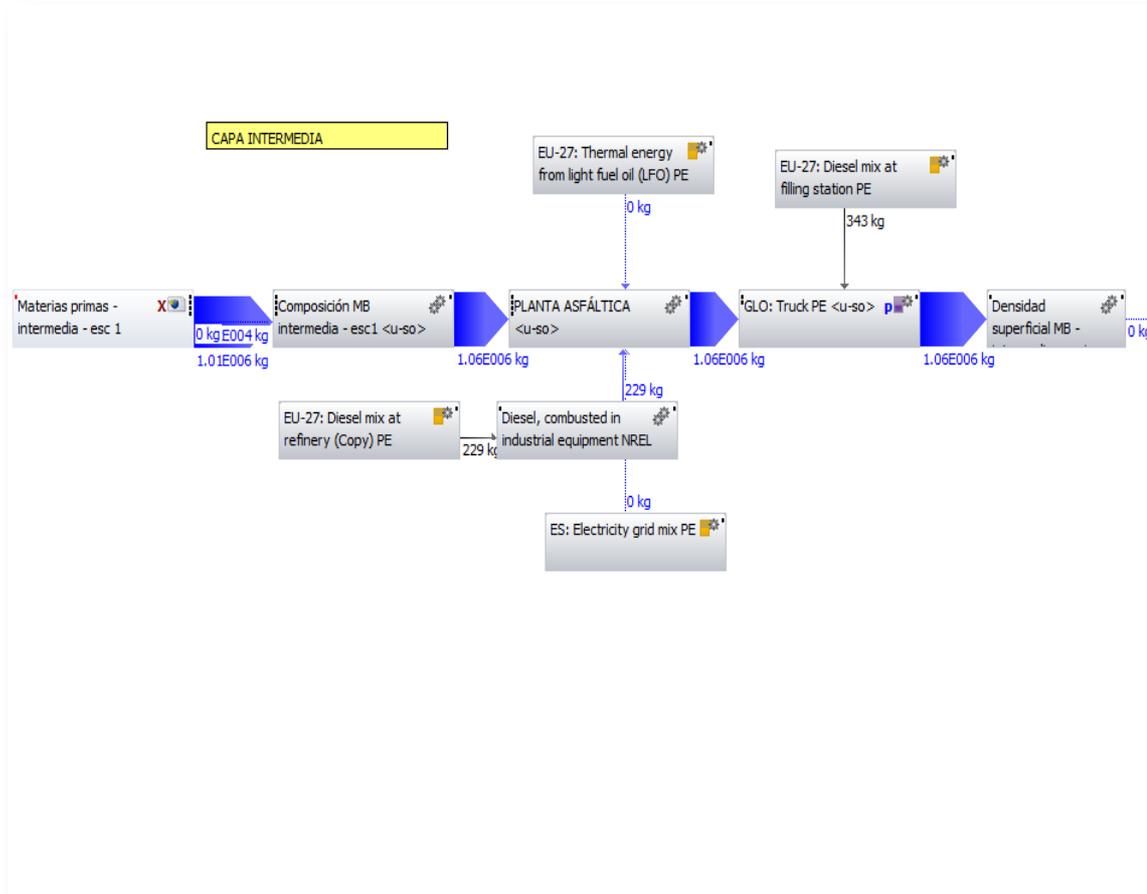


Figura 32: proceso inicial realizado para la ejecución del correcto ciclo de vida en la capa intermedia. (Se muestra escenario 1)

Como se puede apreciar, la ejecución inicial del ciclo de vida llevado a cabo en la capa intermedia, es similar al de la capa de rodadura, de nuevo, tendremos que considerar todos los consumos de energía y diésel para cada uno de los procesos.

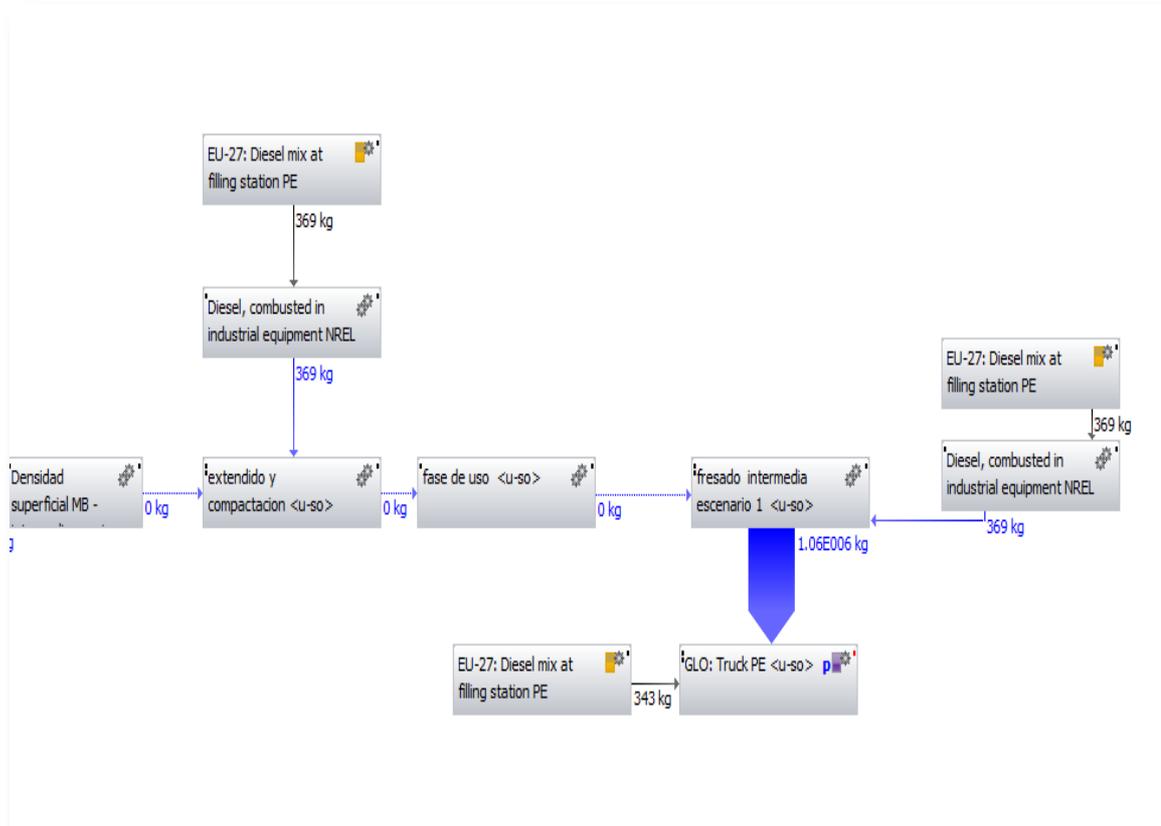


Figura 33: procesos finales de la capa intermedia de los diversos escenarios. (Se muestra escenario 1)

Como se expone con anterioridad, debemos de crear un nuevo proceso de fresado correspondiente definido para la capa intermedia y que, será similar, al de la capa base puesto que hemos establecido, que tengan una misma vida útil; ambas, serán retiradas a los 20 años, desde su uso. Por otro lado, tendremos en cuenta todas las emisiones, que dichos procesos generan.

Es de vital importancia destacar, que el ciclo de vida correspondiente a la capa base, es similar al de la capa intermedia, lo cual se puede apreciar, en las dos imágenes que se muestran a continuación:

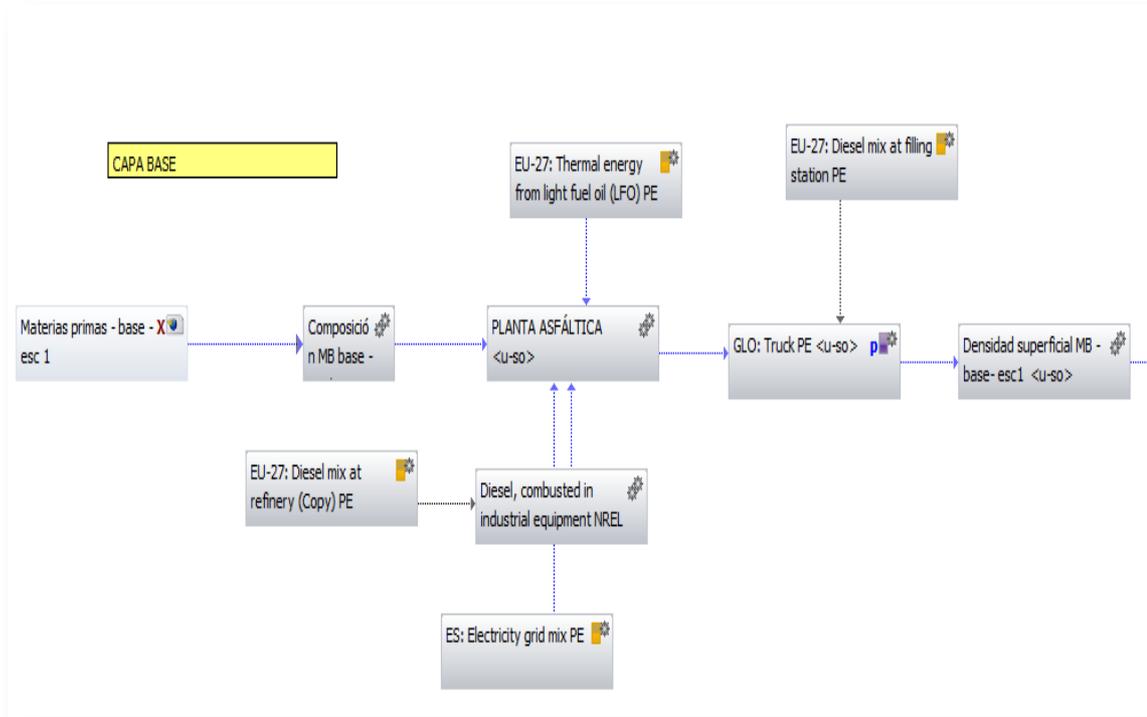


Figura 34: procesos iniciales del ciclo de vida de la capa base. (Escenario 1)

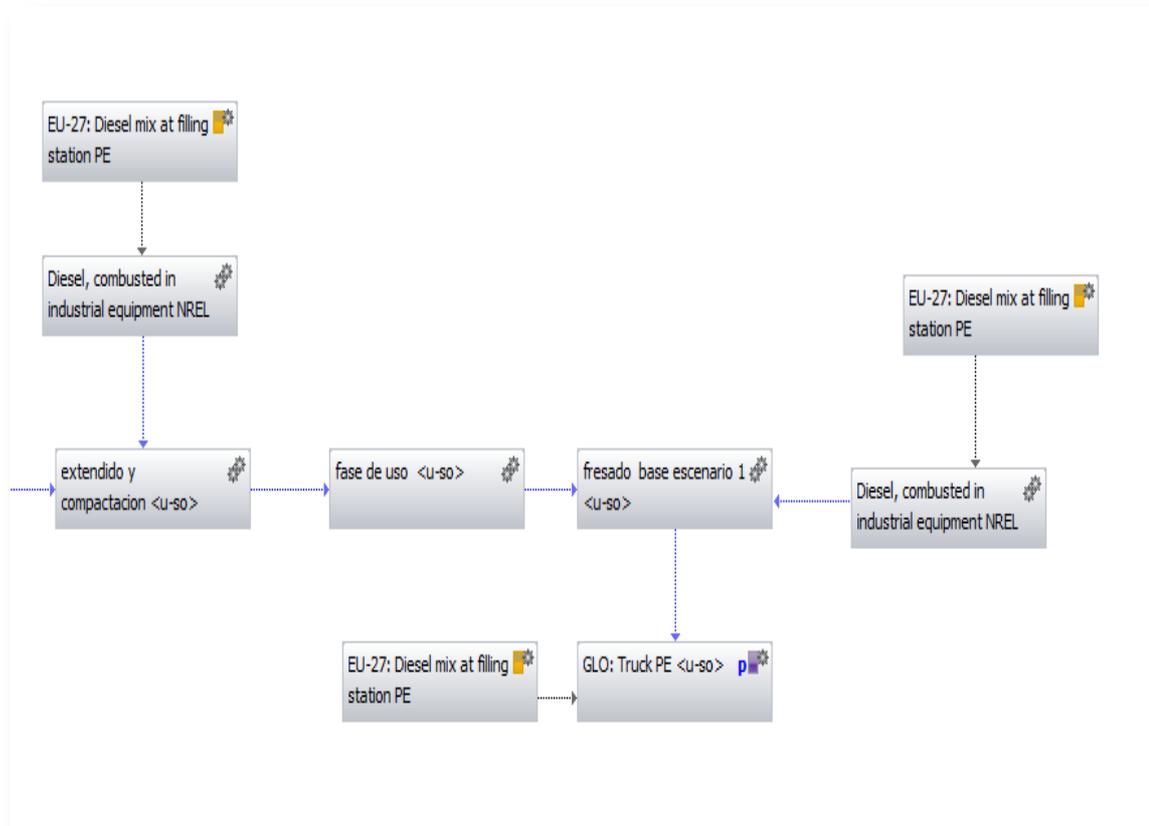


Figura 35: procesos finales del ciclo de vida de la capa base. (Escenario 1)

Para la completa elaboración de este apartado, del presente estudio, debemos destacar, que el escenario 2, se realizará de una forma similar a lo ya expuesto, teniendo en cuenta, que las toneladas necesarias y los materiales, no serán los mismos, puesto que, no comparten la misma composición de la mezcla bituminosa; de esta forma, podremos realizar, con exactitud, el balance de los recursos, emisiones e impactos ambientales, producidos durante el ciclo de vida de dichos productos.

Debido a que el escenario 3, es una combinación de los 2 escenarios anteriores, podremos analizarlo, con los resultados obtenidos, en los balances de dichos escenarios; respetando dicha combinación, ya que la capa de rodadura generará los mismos resultados medioambientales, que la correspondiente al escenario 2, mientras que la capa de base e intermedia, mostrará los mismos resultados, que los correspondientes a dichas capas del escenario 1, esto no sólo se debe a que empleamos mismos materiales, en dichas capas, sino también, a que los espesores

de cada capa, de la mezcla, son los mismos y por lo tanto, a su vez los volúmenes, coincidirán.(Anexo de cálculo)

Por último, tendremos que mencionar, que tras la correcta elaboración e introducción, en el software GABI 6.0 del ciclo de vida y correspondientes procesos, tenemos que establecer, la metodología de impacto ambiental, que vamos a emplear para poder llevar a cabo el balance en dicho software.

Dicha metodología será el Sistema Internacional de Datos del Ciclo de Vida de referencia, ILCD, el cual, nos permitirá establecer un análisis completo, tanto de los recursos, como de las categorías de impacto, a los 20 años desde el inicio de nuestro tramo de carretera. Realizará una comparativa, para cada impacto, categoría y proceso. Teniendo que destacar, que dicha base de datos, establece, las recomendaciones para la correcta evaluación del impacto del ciclo de vida, en el contexto europeo, siendo de las metodologías más actualizadas, empleadas por este software.

4.2 RESULTADOS DE CADA ESCENARIO

Tras la correcta realización del balance, hemos obtenido, los siguientes resultados en cada uno de los escenarios, correspondientes a los recursos y emisiones que se han generado durante el ciclo de vida, de la mezcla bituminosa; ya incluyendo todas sus respectivas capas. Por lo que dichos resultados serán mostrados a continuación, mediante gráficos:

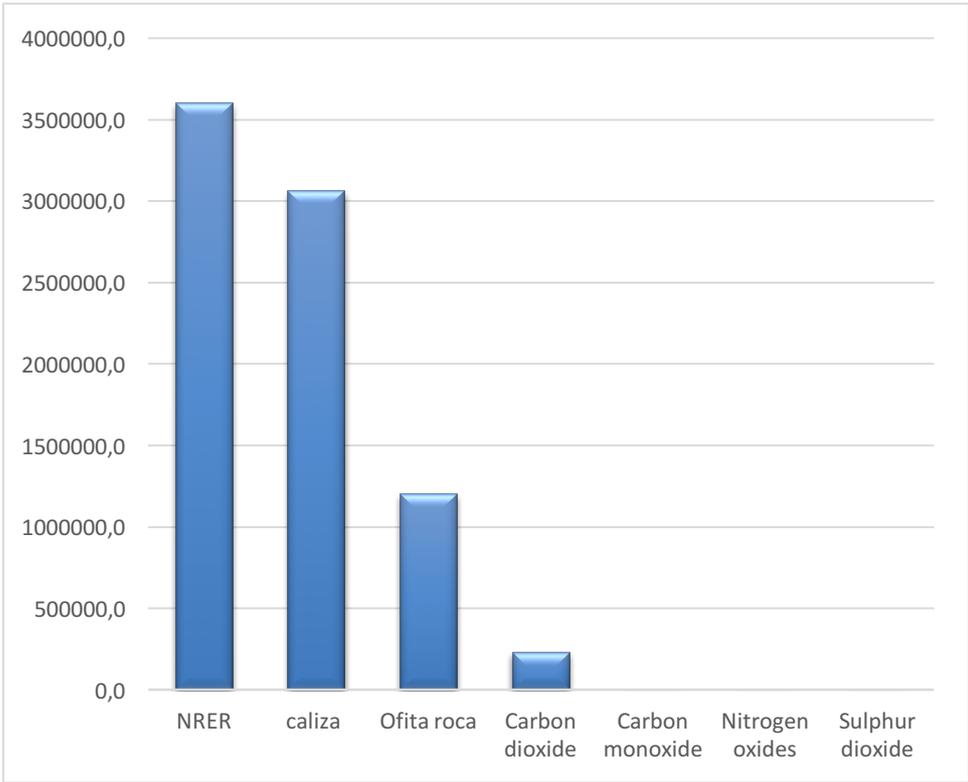


Figura 36: recursos y emisiones totales en el escenario 1.

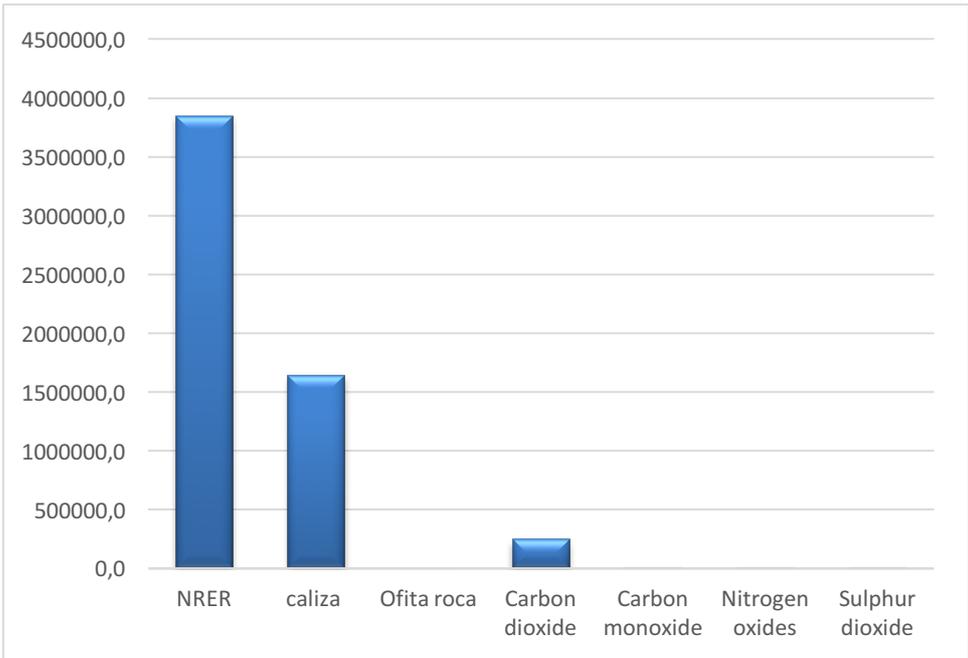


Figura 37: recursos y emisiones totales en el escenario 2.

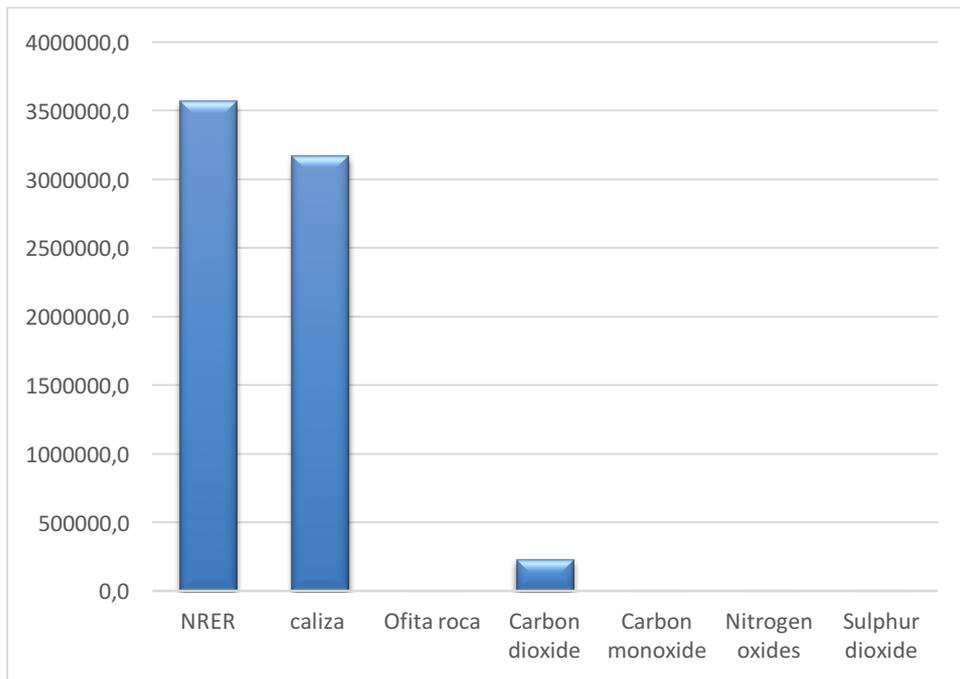


Figura 38: recursos y emisiones totales en el escenario 3.

Como podemos apreciar en los gráficos, desde el punto de vista de los recursos y las emisiones vertidas o producidas, durante la completa ejecución, del ciclo de vida de cada uno de los escenarios, el escenario 1, es junto con el escenario 3, el que menos emisiones vierte a la atmosfera. Por otro lado cabe destacar, que el que más energías no renovables consume es el escenario 2, mientras que el escenario 3, combinación de los 2 escenarios anteriores, consigue los mejores resultados, desde el punto de vista de las emisiones, con respecto de los 2 anteriores.

De esta manera debemos de establecer las categorías de impacto que se han producido durante el desarrollo del ciclo de vida en los diferentes escenarios, datos que quedan recogidos en la tabla que se muestra a continuación:

CATEGORÍAS DE IMPACTO (TOTALES)	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
Acidificación [Mole of H+ equivalente]	740,0	819,0	744,3
Eutrofización del agua [kg P equivalente]	0,52	4,7E-01	4,52E-01
Efectos cancerígenos [CTUh]	1,04E-03	1,1E-03	1,02E-03

IPCC global warming [kg CO2-Equiv.]	241214,3	256858,3	2,39E+05
Agotamiento del ozono, modelo OMM [kg CFC-11 equivalente]	2,56E-05	2,87E-05	2,5673E-05
Formación de ozono fotoquímico [kg NMVOC]	425,2	475,7	434,7

Figura 39: categorías de impacto en totales de los diferentes escenarios.

Como podemos apreciar en la figura 39, la ejecución del escenario 1 es la que menos daña la capa de ozono y la que menos acidificación del aire genera.

En el caso de la eutrofización del agua, IPCC y de la generación de residuos tóxicos, que desembocan en la proliferación del cáncer, afectando al ser humano, lo cual, desemboca en una de las principales causas de muerte, es el escenario 3 el que menos impactos genera. Estableciendo de esta forma, que ante la generación de las categorías de impacto, el escenario más beneficioso es el 3.

4.3 COMPARACION DE LOS ESCENARIOS

Tras la realización del balance con el software GABI 6.0 podemos establecer una relación entre los escenarios para poder realizar una correcta comparativa entre ambos, para lo cual fijaremos el escenario 1; consideraremos que los impactos notables serán aquellos que presenten un gran incremento en porcentaje con respecto al escenario de referencia.

Por otro lado, pasaremos todos los datos a porcentaje, fijando el escenario 1, ya que cada categoría de impacto tienen unidades diversas, de esta manera podremos realizar todas las comparaciones entre dichos escenarios.

A continuación se muestran los gráficos correspondientes a la comparación de los recursos y las emisiones del escenario 1 y 2 y del escenario 1 y 3.

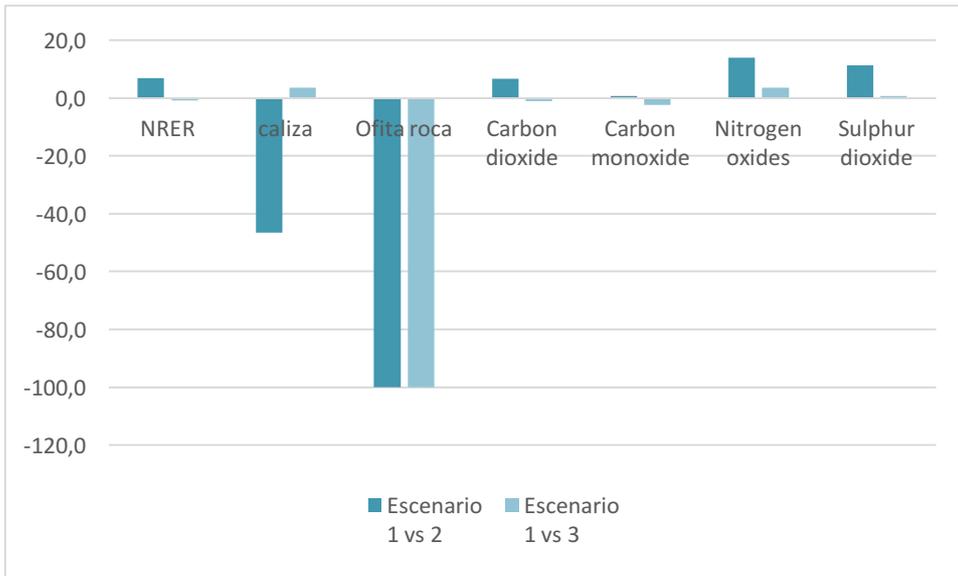


Figura 40: comparativa de los recursos y emisiones de las respectivas mezclas bituminosas.

Como podemos apreciar en los gráficos, se vierten menos emisiones, incluyendo como tales al monóxido de carbono o el sulfato, entre otros, en el escenario 3, sucediendo lo mismo con el consumo de energías no renovables por lo que el escenario 3 es menos dañino para el medio ambiente que el escenario 2.

En el caso de la ofita, no será considerada puesto que tanto en el escenario 2 como en el 3 no se emplea dicho árido en ninguna de las capas de las respectivas mezclas bituminosas.

Tenemos que analizar las categorías de impacto en cantidades totales de mezcla bituminosa de la misma forma que hemos llevado a cabo el balance de los recursos y emisiones. Dichos gráficos serán mostrados a continuación, de esta manera podremos evaluar los principales daños que llegan al medio ambiente, tras la correcta realización del ciclo de vida de nuestra carretera.

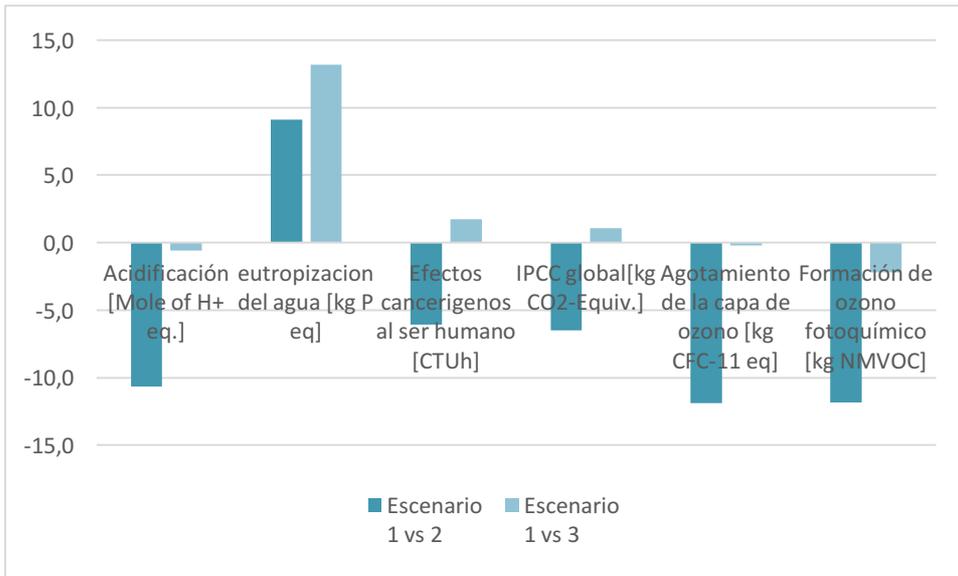


Figura 41: comparación de las categorías de impacto de mezcla bituminosa.

Como podemos apreciar en este gráfico el escenario 2, es más dañino para el medio ambiente que el escenario 3 puesto que las diversas categorías de impactos que se generan a los 20 años desde el inicio del tramo de carretera y tras la correcta realización del ciclo de vida de dichos escenarios, son superiores a los producidos o generados en la ejecución del escenario 3. El presente estudio tiene como objeto fundamental la proliferación del uso o empleo de escenarios que generen y/o potencien la menor cantidad de impactos potencialmente dañinos; por lo tanto, el escenario óptimo escogido para nuestro proyecto será el número 3.

Si tenemos en cuenta la posibilidad de enviar a un vertedero de materiales, próximo a la obra, el 20% de escoria que se extrae tras la etapa de fresado y reposición, podemos ver un cambio apreciable tras realizar la comparativa entre el escenario 2 y 3 ya que el escenario 1 no se ve afectado, puesto que no incluye dicho material en ninguna de las capas que conforman su mezcla bituminosa.

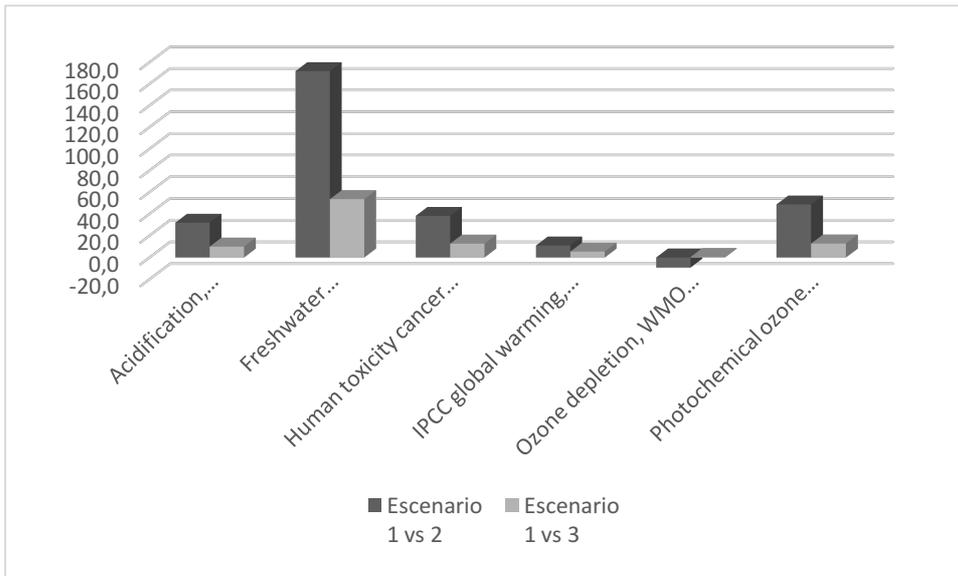


Figura 42: comparativa de los escenarios tras la consideración de enviar la escoria al vertedero.

Cabe destacar que adoptando esta medida considerada como un “impacto a evitar”, estamos reduciendo los impactos ambientales puesto que estamos enviando a vertedero cierta cantidad de escoria y por lo tanto la cantidad de mezcla bituminosa que es extraída tras el fresado a los 20 años de vida útil del tramo de carretera para su posterior envío a planta, disminuirá, por lo que para su posterior reciclado, generaremos menos impactos ya que disminuirémos el consumo de energía, diésel y electricidad, entre otros. De esta forma podemos visualizar este gráfico de una manera más precisa puesto que las categorías de impacto de ambos escenarios han disminuido.

La disminución de impactos se produce en ambos escenarios, pero lógicamente debido a que en el escenario 2 empleamos escoria en las 3 capas de la mezcla bituminosa, enviaremos más toneladas al vertedero, con lo cual, tendremos menos peso y por lo tanto menores impactos, que los producidos sin realizar esta intervención en dicho escenario; aun así, el escenario 3 sigue siendo el óptimo puesto que sigue generando menores impactos en el medio ambiente aun adoptando esta medida con respecto del anterior.

4.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para poder ejecutar este apartado hemos realizado cambios en las distancias de transporte a las correspondientes plantas asfálticas, para ver cómo evolucionan y varían, las categorías de impacto y los recursos y emisiones en los diferentes escenarios.

Tras incrementar la distancia de transporte hasta alcanzar los 50 kilómetros, 100 kilómetros y 425 kilómetros, respecto de la adoptada inicialmente (20 km) para realizar los cálculos previamente mencionados en los apartados anteriores, hemos obtenido los siguientes resultados que nos permitirán comparar los cambios producidos en el balance de los escenarios en función de la distancia de transporte adoptada.

A continuación, se muestra el gráfico donde comparamos los recursos y las emisiones que aparecen en el escenario 2 respecto del escenario 1, a medida que aumentamos las distancias de transporte, estableciéndolo de igual forma para el escenario 3.

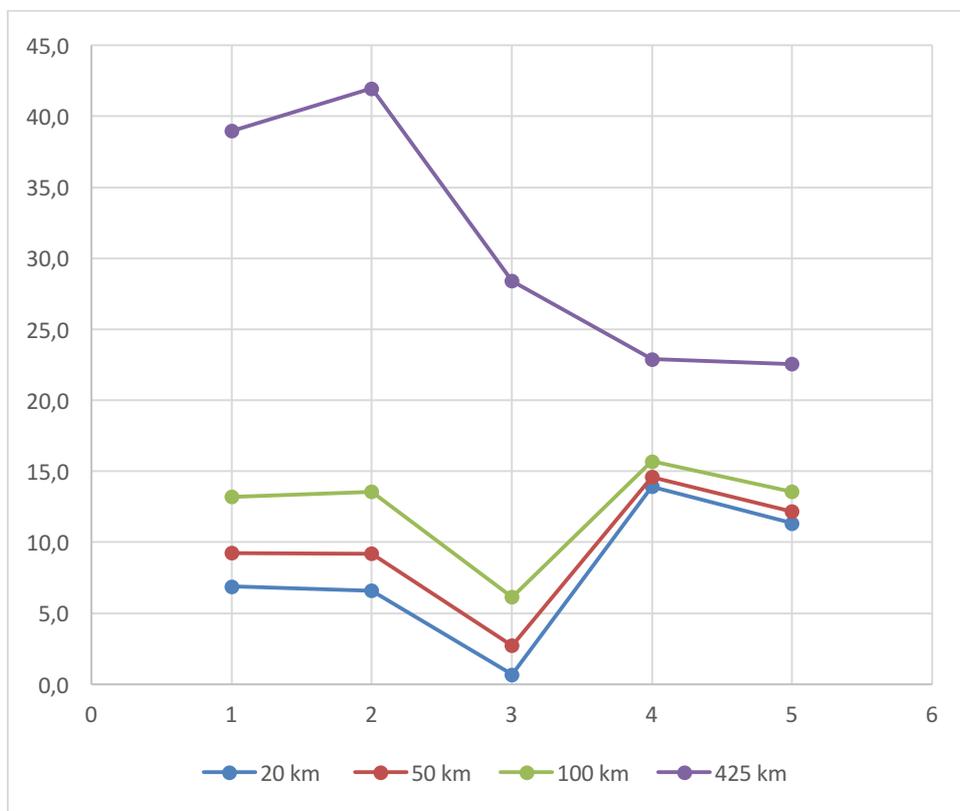


Figura 43: recursos y emisiones en función de la distancia de transporte del escenario 2 vs escenario 1.

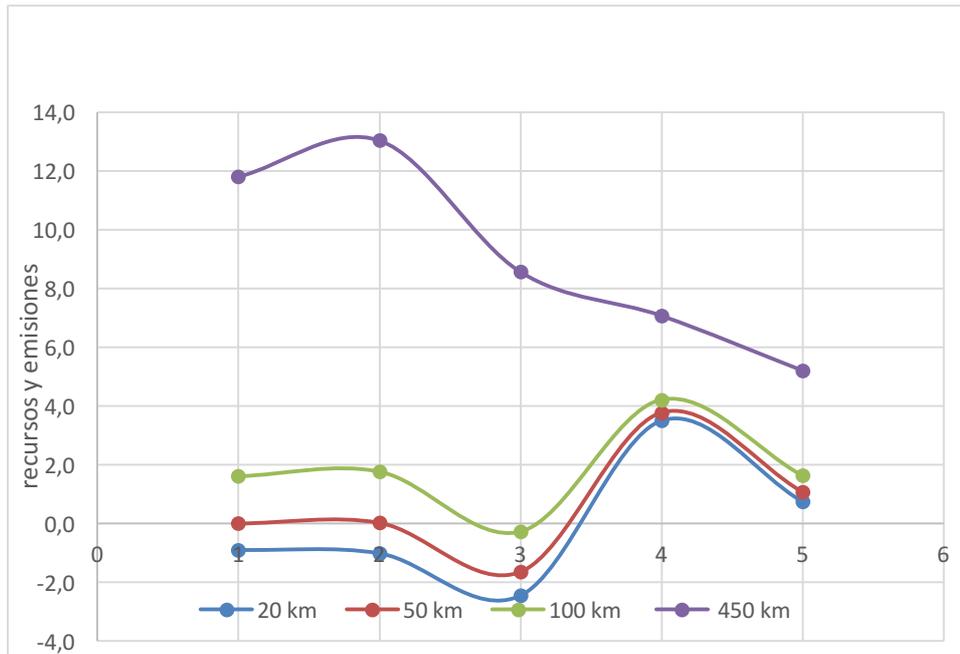


Figura 44: recursos y emisiones en función de la distancia de transporte del escenario 3 vs escenario 1.

A medida que aumentamos la distancia de transporte a la planta asfáltica, como podemos visualizar en los gráficos, se produce un incremento del consumo de las energías no renovables, por otro lado, con los gases o emisiones, sucederá lo mismo, aparecen amplios incrementos. Llegamos a la conclusión, de que, desde el punto de vista medioambiental, es preferible el empleo de escoria u otros materiales más perjudiciales para el medio ambiente antes de emplear otros como la caliza, siempre y cuando la distancia de transporte que se va necesitar hasta la planta asfáltica donde se encuentra dicho árido, es elevada, ya que pese a que el árido sea natural o no esté sometido a procesos químicos que alteren sus propiedades, no nos compensa realizar un largo recorrido hasta su obtención, puesto que, se generaran gran cantidad de emisiones producidas previamente, antes de la elaboración de la mezcla bituminosa, ya que ésta estará condicionada, en primera instancia, por las distancias de transporte.

Debemos de establecer, como se ven afectadas las categorías de impacto, a medida que aumentamos las distancias de transporte, lo cual, se muestra a continuación:

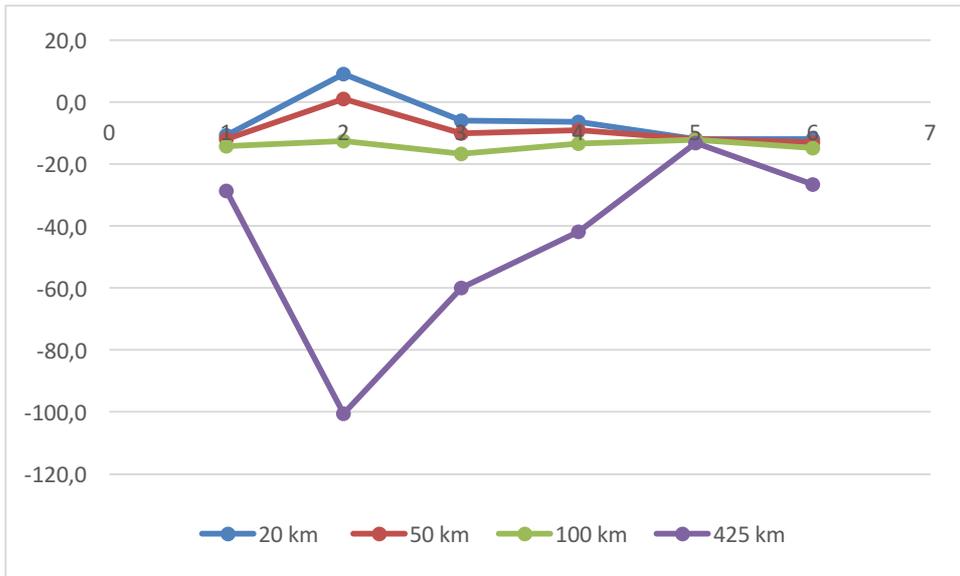


Figura 45: categorías de impacto en función de la distancia de transporte en relación con el escenario 2.

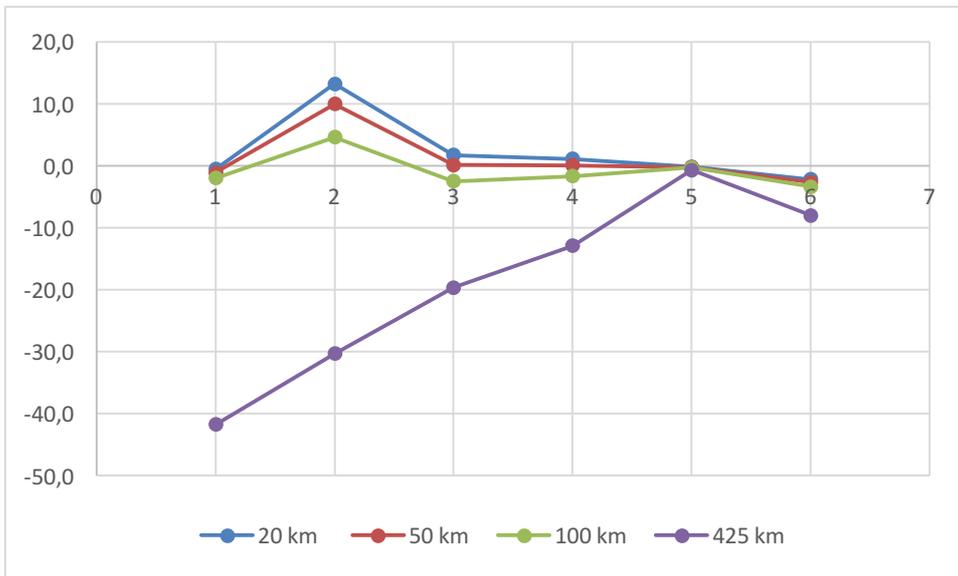


Figura 46: categorías de impacto en función de la distancia de transporte en relación con el escenario 3.

A medida que aumentamos la distancia de transporte, provocamos un aumento de las categorías de impacto y por lo tanto aumentaremos los daños medioambientales que se generan durante todo el proceso de ejecución del tramo de carretera.

Debemos de tener en cuenta que a pesar de que no sean beneficiosos estos incrementos de los riesgos ambientales, en caso de encontrarnos en dicha situación y no disponer de áridos ubicados más próximos a nuestro eje de carretera, el escenario 3 sigue siendo el óptimo para llevar a cabo la ejecución de nuestra obra en cuestión.

5. CONCLUSIONES

Tras la correcta elaboración de los escenarios y posteriores ciclos de vida, respectivamente, junto con sus consiguientes balances, hemos obtenido los resultados esperados puesto que el escenario 3 es el menos afectivo hacia el medio ambiente puesto que es el que menos emisiones vierte a la atmosfera, mientras que por otro lado es el que menos cantidad de impactos ambientales genera.

Al tomar como referencia el escenario 1, estamos estableciendo la comparación entre el escenario 2 y 3; estableciendo porcentajes, puesto que es la única forma de poder realizar las comparaciones entre los escenarios, ya que cada categoría de impacto posee sus propias unidades. Cabe destacar que podríamos adoptar medidas que reduzcan las emisiones junto con la disminución de las categorías de impacto que se desarrollan durante el ciclo de vida de los escenarios, entre otras, la ya mencionada con anterioridad, enviar al vertedero el 20% de escoria extraída en cada capa de la mezcla bituminosa, ya que de esta forma, reduciremos los impactos, siempre y cuando el vertedero de materiales esté próximo a nuestro tramo de carretera. Con dicha conclusión podemos verificar que los escenarios con menos peso de mezcla bituminosa son los que me generaran menos impactos y por lo tanto, al enviar al vertedero ciertas cantidades de escoria evitaremos su posterior reciclado, por lo que disminuirémos las emisiones que se conforman durante la fase de elaboración de materias primas de la mezcla bituminosa, entre otros.

Durante la ejecución del apartado del análisis de sensibilidad, confirmamos lo que ya preveíamos durante la elaboración de los ciclos de vida de cada escenario y posterior introducción en el software GABI 6.0. A medida que aumentamos la distancia de transporte incrementamos los impactos y el vertido de emisiones. Con lo cual, siempre que nos dispongamos a realizar un proyecto de esta envergadura, tendremos que considerar dicho factor y adoptar otras alternativas, tales como, sustituir los materiales necesarios para el desarrollo de nuestro tramo de carretera, por otros, los cuales, dispongan de una planta asfáltica próxima a la obra, o a una distancia razonable.

Por último, me gustaría que quedase recogido en el presente estudio, el principal problema del hombre, que desde mi humilde punto de vista, es el que hace que no podamos cuidar el medio ambiente en la medida de que disponemos, la prioridad económica que se da, en prácticamente todos los proyectos de construcción y demás campos. Anteponer las necesidades

medioambientales será pagado por nuestras futuras generaciones, con daños irreparables en nuestros ecosistemas, por lo que todos deberíamos contribuir a satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, haciendo posible que se cumplan también, las de las futuras.

“La tierra provee lo suficiente para satisfacer las necesidades de cada hombre, pero no la avaricia de cada hombre”. (Mahatma Gandhi)

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cuaderno tecnológico de la PTC. (Ángel Sampedro Rodríguez).
- [2] Milachowski,C. Análisis del ciclo de vida en carreteras.(2008).
- [3] Proyecto Fénix. (2009).
- [4] Sostenibilidad en la construcción (2013-2014).
- [5] ISO 14040(2008-2009).
- [6] ISO 14044(2008-2009).
- [7] Libro de mezclas ETS ICCP (Miguel Ángel Calzada).
- [8] Libro de suelos ETS ICCP (Ángel Vega).
- [9] Laboratorio nacional de ingeniería civil (2009).
- [10] Tipologías y propiedades de los firmes (Luis Bañó Blázquez, 2014).
- [11] Mezclas templadas (Lucía Miranda, 2014).
- [12] Mezclas semicalientes (Lucía Miranda Pérez, 2014).
- [13] Mezclas en frío (Asociación técnica de emulsiones bituminosas, José Antonio Soto).
- [14] Reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en planta (Jorge Alarcón Ibarra).

7. ANEXO DE CÁLCULO

Para poder establecer las toneladas de cada escenario hemos tenido que servirnos del pliego de carreteras.

Conociendo las densidades de todos los materiales empleados en la elaboración de la mezcla bituminosa, (ofita, caliza, betún y escoria) en función del escenario en el que nos encontremos, y obteniendo del PG-3 los contenidos mínimos de ligante, porcentaje de huecos y en caso de emplear ofita, realizando la corrección del contenido de ligante en función de su densidad, basándonos en la tabla 542.10 del PG-3; podremos hallar el volumen de sólido.

Por otro lado, conociendo los espesores de cada capa de la mezcla bituminosa y su longitud de tramo y de los 2 carriles, podremos establecer sus respectivos volúmenes:

- Volumen de capa de rodadura = $1000 \times 7.2 \times 0.05 = 360 \text{ m}^3$.
- Volumen de capa intermedia = $1000 \times 7.2 \times 0.06 = 432 \text{ m}^3$.
- Volumen de capa de base = $1000 \times 7.2 \times 0.09 = 648 \text{ m}^3$.

Dichos datos serán comunes a todos los escenarios.

Para establecer el balance a los 20 años, de cada escenario, nos hemos servido del software GABI 6.0, junto con los datos recogidos en el inventario, cálculos previos y los datos obtenidos a través del PG-3. Por ejemplo, a continuación se muestran las tablas obtenidas para el desarrollo del escenario 1:

ESCENARIO 1 (RECURSOS Y EMISIONES)	Escenario 1 - rodadura	Escenario 1 - intermedia	Escenario 1 - base	Total
<i>Non renewable energy resources</i>	1535415,9	961520,1	1102608,7	3599544,7
<i>Limestone</i>	538332,5	1008762,6	1513831,0	3060926,1
<i>Ofita roca</i>	1199193,7	0,0	0,0	1199193,7
<i>Carbon dioxide</i>	101438,9	55406,7	71890,9	228736,5
<i>Carbon monoxide</i>	123,1	68,4	83,2	274,7
<i>Nitrogen oxides</i>	126,8	92,4	104,3	323,5
<i>Sulphur dioxide</i>	110,7	145,4	88,5	344,6

ESCENARIO 1 (CATEGORIAS DE IMPACTO)*Impacts ILCD/PEF recommendation**Acidification, accumulated exceedance [Mole of H+ eq.]**Freshwater eutrophication, EUTREND model, ReCiPe [kg P eq]**Human toxicity cancer effects, USEtox (recommended) [CTUh]**IPCC global warming, excl biogenic carbon [kg CO2-Equiv.]**Ozone depletion, WMO model, ReCiPe [kg CFC-11 eq]**Photochemical ozone formation, LOTOS-EUROS model, ReCiPe [kg NMVOC]*

	Escenario 1 - rodadura	Escenario 1 - intermedia	Escenario 1 - base	Total
	266,7	267,9	205,3	740,0
	0,28	0,11	0,13	0,52
	5,39E-04	1,43E-04	3,57E-04	1,04E-03
	106584,3	59113,2	75516,8	241214,3
	6,07E-06	1,44E-05	5,18E-06	2,56E-05
	168,7	122,7	133,8	425,2

Dicho proceso se repetirá sucesivamente para cada uno de los escenarios, cuya finalidad principal es establecer la comparativa entre ambos, empleando tanto las emisiones como las diferentes categorías de impacto, en cantidades totales y posteriormente adimensionales, respecto del escenario 1.