

Criterios para una valoración medioambiental de la sustitución del *filler* de recuperación de los áridos en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente



Central discontinua para la fabricación de mezclas bituminosas en caliente: descarga del *filler* de recuperación sobrante, desde el silo cilíndrico vertical a un camión cúbico para su transporte a vertedero

Jorge Ortiz Ripoll, SORIGUÉ, S.A

Resumen

La producción de mezclas bituminosas admite un amplio abanico de posibilidades en cuanto a la selección de los materiales con que van a ser elaboradas, a las temperaturas de fabricación, a la configuración o rendimiento de las instalaciones y equipos utilizados, etc. Los impactos ambientales asociados a las distintas alternativas pueden ser significativamente distintos. El Análisis

del Ciclo de Vida es la herramienta adecuada para llevar a cabo una valoración que tome en cuenta el alcance de tales impactos, y de él se ha hecho uso en este trabajo. El artículo propone algunos de los criterios con los que puede analizarse la cuantía de la sustitución del *filler* de recuperación de los áridos y el tipo de *filler* de aportación utilizado, desde el punto de vista de su mejor o peor adecuación a los compromisos impuestos por los principios del Desarrollo Sostenible.

Palabras clave: Filler, polvo mi-

neral, cemento, cal, mezclas bituminosas, medio ambiente.

1. Introducción

El sector de la construcción produce un impacto en el medio ambiente: consume grandes volúmenes de materias primas y de energía, y genera grandes cantidades de emisiones y de residuos. Con una participación del 10% en la economía mundial, consume hasta un 40% de la producción total de energía y contribuye a la emisión de gases inver-

nadero. En los Estados Unidos, un 31% de las emisiones totales anuales, equivalentes a 1,3 millones de toneladas, se asocian a la construcción y sus industrias auxiliares. En el caso de los residuos de la construcción, los países de la Unión Europea superan los 180 millones de toneladas/año, 480 kg por habitante, de los que sólo el 26% son reciclados o reutilizados [1].

El proyecto y la construcción de las obras públicas se han regido tradicionalmente por criterios de calidad, coste y plazo que ya no bastan, sin embargo, para satisfacer las exigencias de un *desarrollo sostenible*. Recordemos que este concepto fue introducido en 1987 por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, creada al amparo de las Naciones Unidas, y definido como *el desarrollo que resuelve las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de que las generaciones futuras resuelvan sus propias necesidades*.

El desarrollo sostenible afecta a cuestiones fundamentales de índole social, medioambiental y económica relacionadas con el sector de la construcción y sus industrias auxiliares. Requiere la utilización de *tecnologías sostenibles*, capaces de proporcionar soluciones prácticas para alcanzar el desarrollo económico y la satisfacción de las necesidades humanas en armonía con el entorno. Según *Mebretu* (1998) estas tecnologías deben reunir las siguientes características [3]:

1. Minimizar los consumos

El consumo de recursos naturales y de energías no renovables debe reducirse tanto como sea posible, puesto que se realiza a costa de limitar las posibilidades de las generaciones actual y futuras.

2. Mantener la satisfacción humana

La tecnología sostenible debe satisfacer las necesidades de la población humana a la que sirve, atendiendo a sus preferencias particulares

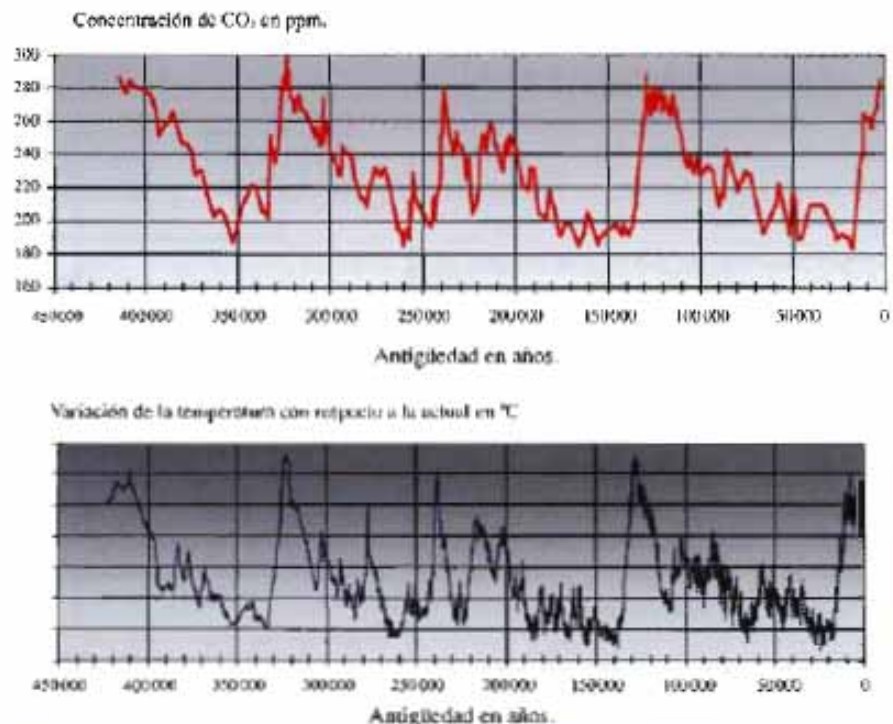


Figura 1: Variación de las concentraciones de CO₂ y de la temperatura ambiente medidas en muestras de hielo obtenidas en el lago Vostok (Antártida) hasta edades superiores a los 400 000 años. Diferencias de $\pm 4^{\circ}\text{C}$ han bastado para producir la transición de una glaciación a un periodo de deshielo [2].

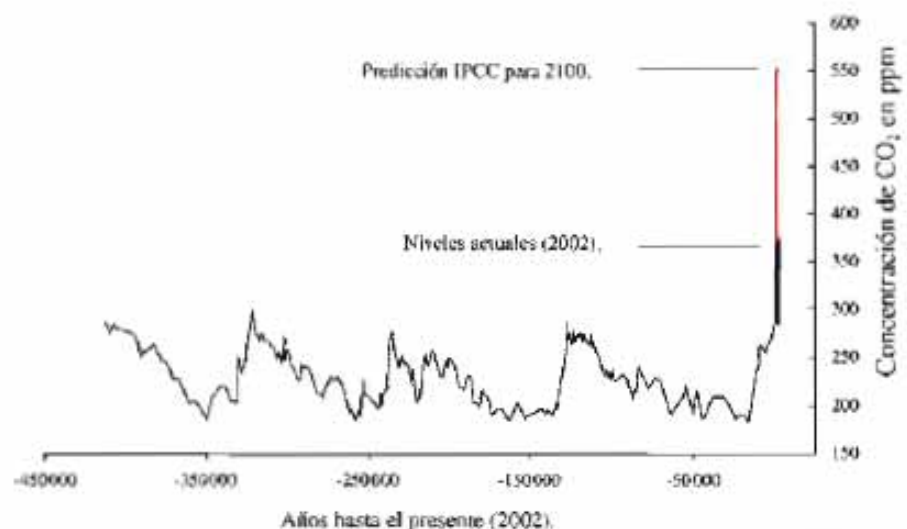


Figura 2: Evolución de la concentración de CO₂, incluyendo las previsiones, según el más favorable de los escenarios analizados, del Panel Intergubernamental para el cambio climático (IPCC). Los niveles de CO₂ previstos no se han alcanzado en los últimos 420 000 años.

y a las diferencias culturales entre los colectivos que la componen.

3. Minimizar los impactos medioambientales negativos

El ecosistema debe ser protegido y preservado como hábitat saludable para la raza humana y para mantener la biodiversidad.

No es posible, pues, prescindir por más tiempo de la evaluación ambiental como uno de los procesos fundamentales de la toma de decisiones en cualquier sector productivo que pretenda enmarcarse bajo los principios del desarrollo sostenible. España se ha adherido a las Políticas medioambientales acordadas en la Cumbre de la Tierra (Rio de Ja-

neiro, 1992), el *Protocolo de Montreal* (1987) y el *Protocolo de Kyoto* (1997). Además, desde la Unión Europea, las directivas comunitarias determinan los niveles máximos de emisiones y promueven la adecuación de la Industria a la mejor tecnología disponible, como medio para reducir estos impactos.

Estos compromisos condicionan también las decisiones relativas a la elección de los materiales con los que deben fabricarse las mezclas bituminosas en caliente, según pretendemos mostrar a continuación. Nuestro estudio se ha dirigido a la fracción mineral de tamaño inferior a 63 μ m o *filler* (polvo mineral) para la cual propondremos los criterios con los que llevar a cabo la valoración medioambiental de las alternativas disponibles.

2. El análisis del ciclo de vida aplicado al filler de las mezclas bituminosas en caliente

Los programas que desarrollan las políticas mencionadas recomiendan utilizar el estudio del ciclo de vida completo como referencia para evaluar ambientalmente un producto. El *Análisis del Ciclo de Vida* tiene en cuenta todos los recursos consumidos en un producto, desde la obtención de las materias primas y los empleados en su fabricación, hasta su reutilización o extinción como residuo, incluyendo los impactos potenciales sobre el medio ambiente y la salud de las personas involucrados en los procesos. (figura 3).

El estudio de los flujos asociados se puede efectuar distinguiendo subsistemas más sencillos. Así, en la figura 4 hemos representado el que podría corresponder a la fabricación en central de una mezcla bituminosa convencional, sin incorporar filler de aportación.

Los efectos medioambientales adicionales debidos a la utilización de *filler* de aportación en la fabricación de esa misma mezcla, que constitu-

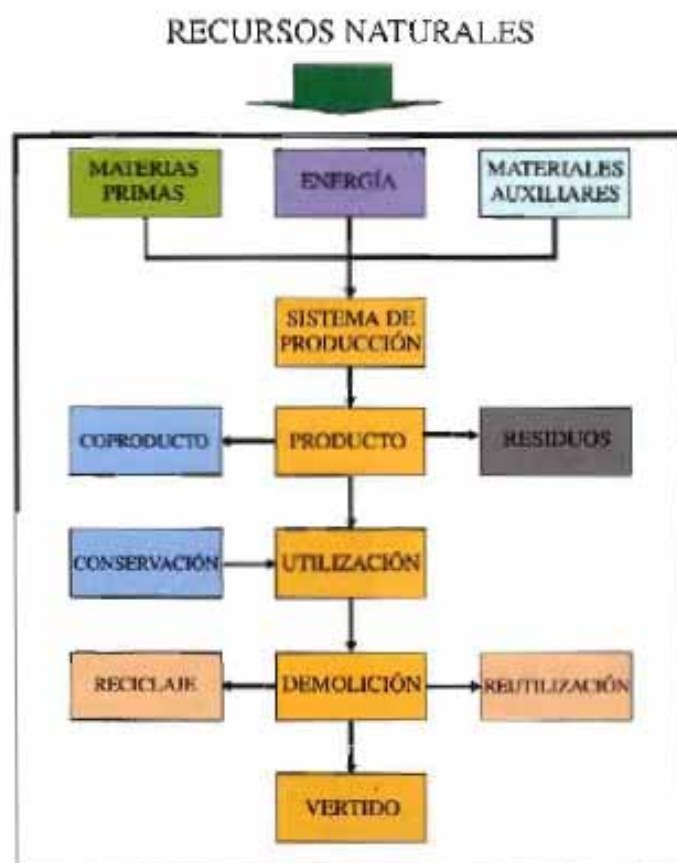


Figura 3: Un diagrama de flujo genérico y simplificado para el Análisis del Ciclo de Vida de un producto.



Figura 4: Un diagrama de flujo genérico y simplificado para el Análisis del Ciclo de Vida de un producto.



Figura 5: Diagrama de flujo que distingue los efectos medioambientales adicionales causados por la utilización de *filler* de aportación.

yen el objeto de este estudio, han sido representados esquemáticamente en la figura 5.

Naturalmente, estos efectos dependen de la cuantía de la sustitución, del tipo de *filler* de aportación empleado, y de las condiciones de funcionamiento de la planta. El esquema representado en la figura 5 resulta de utilidad para realizar la contabilidad medioambiental de la sustitución del *filler* de recuperación por *filler* de aportación. Los consumos y las emisiones adicionales con que hay que contar y que no se tendrían si no se produjera la sustitución mencionada son los debidos a las siguientes actividades:

1. Fabricación y transporte del *filler* de aportación hasta la central de fabricación.
2. Calentamiento, transporte y vertido del *filler* de recuperación.
3. Manipulación y calentamiento del *filler* de aportación.
4. Aumento de la aspiración en el tambor secador.

Esta última actividad está impuesta, generalmente, por la necesidad de satisfacer la obligación establecida en Pliegos de Prescripciones Técnicas como el PG-3, referida a que *no más del 2% del polvo mineral total se considera inevitablemente adherido a los áridos*, y que el resto debe ser extraído por completo y da lugar a nuevos consumos y emisiones. En efecto, la combustión completa del fuel puede conseguirse con aspiraciones que no extraen más del 50% del polvo mineral en los tambores de contracorriente y una proporción muy inferior en los tambores secadores mezcladores de flujo paralelo [4]. Aumentar las cantidades de finos extraídas por la corriente de gases en el secador sólo puede hacerse elevando apreciablemente la aspiración, movilizand o un mayor volumen de gases cuya temperatura deberá ser elevada también hasta la temperatura final de la mezcla; y aumentando, por tanto, el consumo de combustible y las emisiones de CO₂.

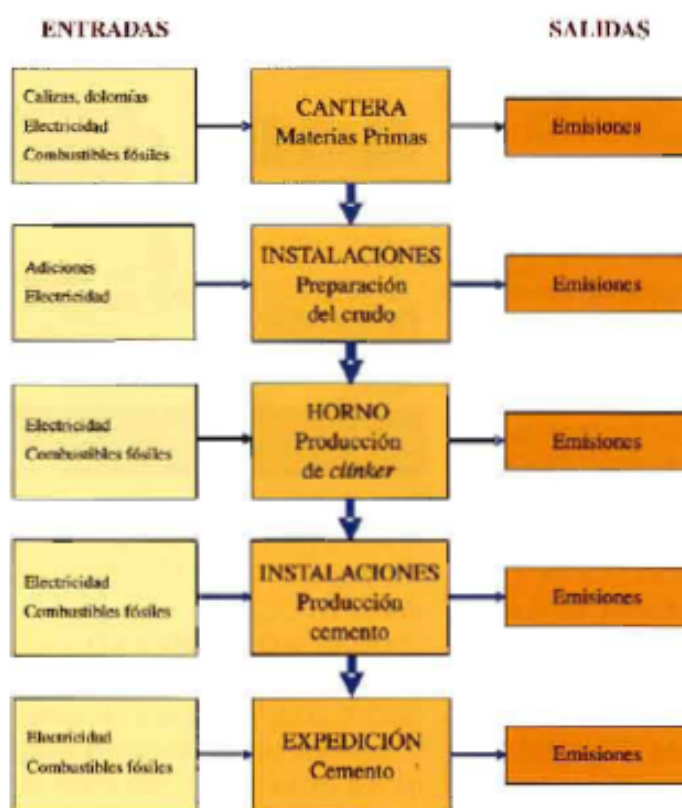


Figura 6: Diagrama de flujo que representa las distintas actividades asociadas a la producción de cemento.

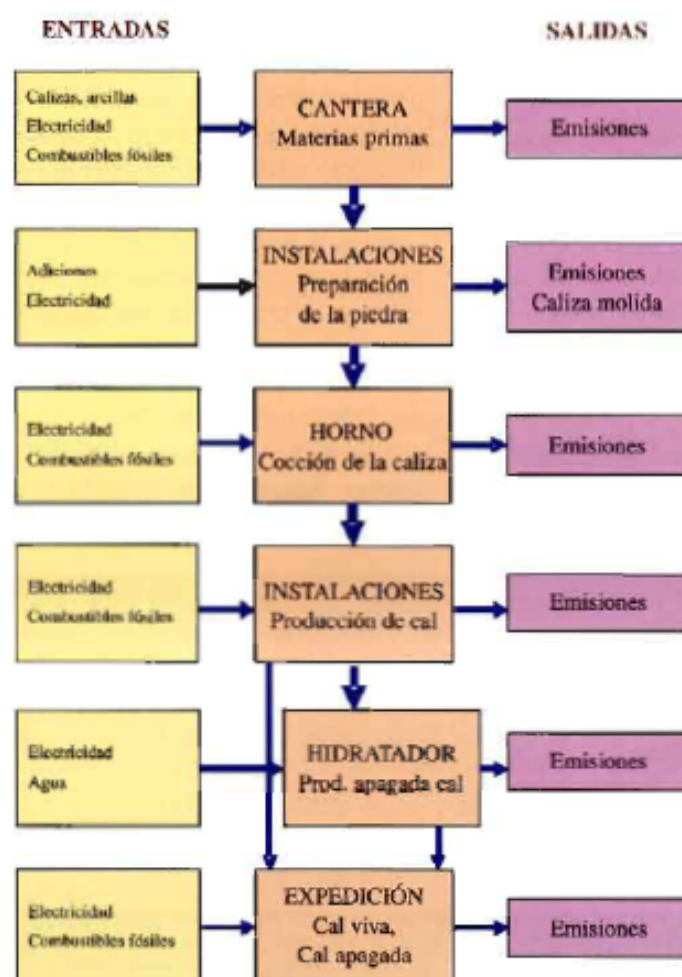


Figura 7: Diagrama de flujo para las distintas actividades asociadas a la producción de cal.

3. Impactos ambientales causados por la fabricación del filler de aportación

Cemento, cal hidratada y polvo mineral calizo son los materiales más comúnmente utilizados como *filler* de aportación. Suele considerarse el cemento como *filler* idóneo y material de referencia para las relaciones ponderales polvo mineral/betún establecidas en el PG-3 [5], mientras que la adición de hidróxido cálcico se considera muy beneficiosa desde el punto de vista de la adhesividad árido-ligante, fundamentalmente [6, 7]. El polvo mineral procedente de la trituración de piedra caliza es la alternativa económica admitida en otras ocasiones. Cierta tipo de escorias, como las cenizas volantes de central térmica, *Paval* (residuos de la fusión de aluminio), etc., han probado su aptitud como *filler* de aportación, aunque su uso escasamente ha superado el terreno experimental [8].

Los consumos de recursos, las emisiones y los residuos producidos por cada uno de estos materiales deben deducirse de los Análisis del Ciclo de Vida correspondiente a sus respectivos sistemas de producción. La figura 6 muestra un diagrama de flujo representativo de la fabricación de cemento, que incluye desde la obtención de las materias primas hasta su expedición en fábrica.

El principal foco de emisiones es el horno del *clinker*, en el que se obtiene este producto de distintas reacciones químicas, entre las que debe destacarse la correspondiente a

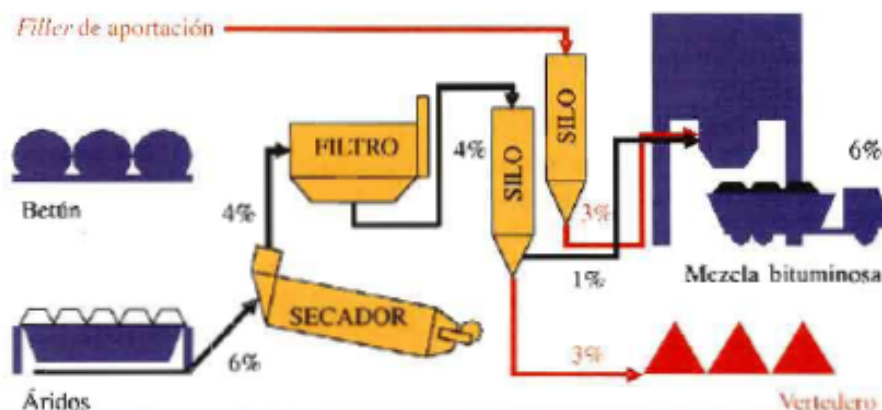


Figura 8: Representación esquemática de los circuitos correspondientes a la utilización de filler de recuperación de los áridos (en negro) y de aportación (línea roja).

la descarbonatación de la piedra caliza, responsable del 53% de las emisiones de CO_2 [1]:



Por su parte, el hidróxido cálcico Ca(OH)_2 o *cal apagada* es el producto obtenido por hidratación o apagado del óxido de cal CaO o *cal viva*, según la siguiente reacción:



La figura 7 representa las actividades necesarias para la obtención de cal viva y cal apagada.

No hemos presentado un diagrama de flujo para la producción de polvo mineral calizo que, a nuestros efectos, puede suponerse consiste en la caliza molida incluida entre las salidas de la figura 7.

Para la asignación de los principales consumos y emisiones vinculados a la producción de cemento, cal y polvo mineral calizo, hemos recurrido a los trabajos de De Carvalho (2001) y Strippie (2001), de los que se deducen la adecuación de los valores indicados en la tabla 1. Se han despreciado los impactos vincu-

lados al hidratador, donde se consumen 480 litros de agua por cada tonelada de hidróxido cálcico producida [1,9].

También se ha supuesto que la proporción de partículas inferiores a $63 \mu\text{m}$ es de un 80% en cada uno de los materiales de aportación según se reciben en planta; y, por tanto, que precisamos disponer de 1,25 unidades de material de aportación total para obtener 1 unidad de polvo mineral de aportación, según la definición del PG-3. Por último, se ha considerado que al menos un 65% del material recuperado por el filtro de mangas es inferior a $63 \mu\text{m}$, lo que corresponde a valores habituales en centrales dotadas de pre-separadores eficaces de finos; en otro caso, la proporción sería inferior y, por tanto, mayores las cantidades de residuos generados.

4. Impactos causados por las operaciones en la central necesarias para sustituir el filler de recuperación de los áridos

El calentamiento del *filler* de recuperación de los áridos no utilizado en la fabricación de la mezcla bituminosa consume una cierta cantidad de combustible. Debe tomarse en consideración, pues, este consumo adicional con respecto a la situación en que este material es aprovechado, equivalente al consumo medio por unidad de producción. En nues-

ENTRADAS/SALIDAS	Cal viva CaO	Cal apagada Ca(OH)_2	Cemento Portland	Polvo calizo
RECURSOS NATURALES kg de piedra caliza	2 500	1 892	1 950	1 250
ENERGÍA Eléctrica o térmica, M J	10 438	7 937	6 463	83
EMISIONES kg de CO_2	2 543	1 932	1 212	1
RESIDUOS kg filler de los áridos	1 540	1 540	1 540	1 540

Tabla 1: Principales consumos y emisiones asociados a la producción de 1 t de filler de aportación (fracción inferior a $63 \mu\text{m}$) a partir de cada uno de los materiales indicados.

En este estudio estimamos esta cantidad en 7 kg de combustible de tipo fuel por tonelada de mezcla. Se han supuesto unos consumos energéticos asociados a la producción de fuel de 41 MJ/t [1]. Las emisiones de CO₂ provienen fundamentalmente de la reacción de combustión, donde el equilibrio químico impone la obtención de 3 t de CO₂ por tonelada de fuel.

Además, el calentamiento del filler de aportación sólo puede producirse por sobrecalentamiento de la mezcla de áridos y transferencia de calor por conducción. Si bien este sobrecalentamiento depende del tipo de central, se han desarrollado fórmulas que proporcionan las temperaturas necesarias, con carácter aproximado. La fórmula siguiente, por ejemplo, permite calcular la temperatura de los áridos (T_a) en función de la temperatura de fabricación de la mezcla (T_m), de la temperatura del filler de aportación (T_p), de su humedad (W_p) y de la proporción en que es utilizado (R), estas dos últimas magnitudes expresadas en tanto por uno [10]:

$$TN = \frac{T_m - R \cdot T_p}{1 - R} + 4 \frac{R \cdot W_p}{1 - R} (637 - T_p)$$

De esta fórmula se deduce que, en condiciones normales, es preciso elevar la temperatura de los áridos 3° C en exceso, por cada 1% de filler de aportación incorporado a la mezcla. Los correspondientes consumos de fuel-oil, según cálculos facilitados por INTRAME, se han estimado en 0,23 kg de combustible por cada 10° C de elevación de temperatura¹.

Por último, debemos considerar que, para cumplir estrictamente con la obligación establecida en el PG-3 de que no más del 2% del polvo mineral total se considera inevitablemente adherido a los áridos y que el resto debe ser extraído por completo, es necesario considerar los consumos y emisiones correspondientes a esta operación. Como ya se ha indicado, deben emplearse aspiraciones superiores a las requeridas por la combustión completa del fuel, si hay que desfilizar los áridos en las pro-

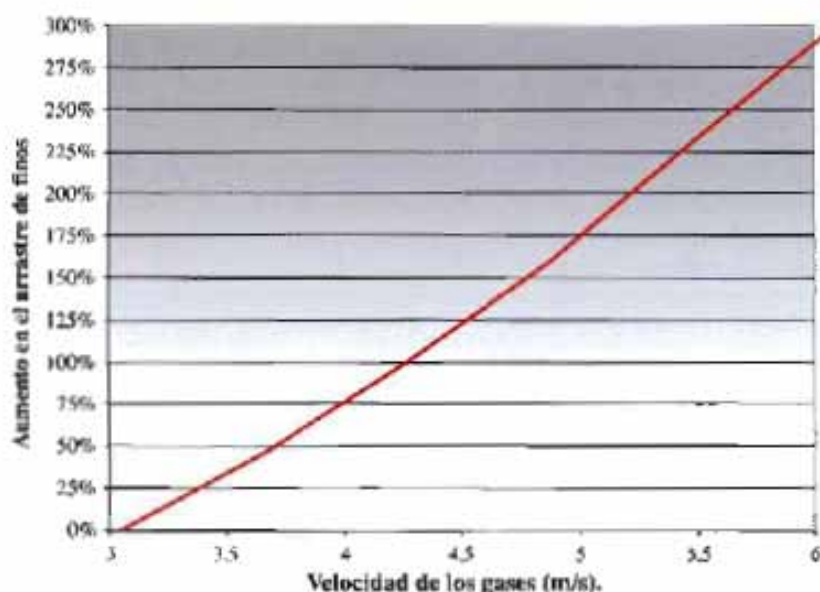


Figura 9: Cantidad de finos extraídos en función de la velocidad de los gases de combustión en el interior del tambor secador (Según Brook, 1999).

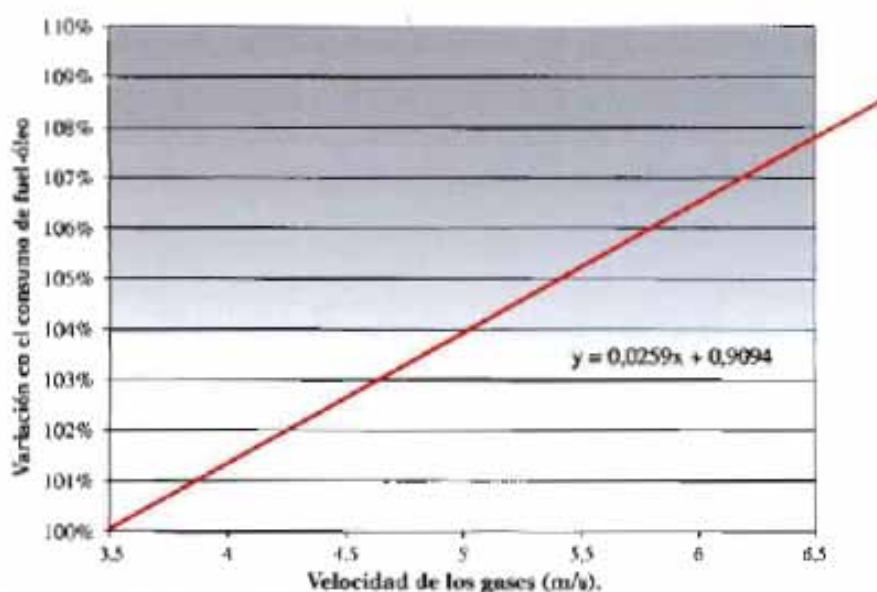


Figura 10: Variaciones típicas del consumo de fuel con el aumento de la velocidad de los gases (Según INTRAME, 2004).

OPERACIONES EN LA CENTRAL	1. Fuel t	2. Energía MJ (t) X 41	3. CO ₂ t (t) X 3
Calentamiento del filler de áridos no utilizado	10,8	442,0	32,4
Sobrecalentamiento de la mezcla de áridos	7,8	317,8	23,3
Por aumento de la aspiración	9,0	369,0	27,0
TOTALES	27,6	1128,8	82,7

Tabla 2: Principales consumos y emisiones asociados a las operaciones necesarias en la central para la sustitución de una tonelada de filler de recuperación de los áridos por filler de aportación.

TRANSPORTES DE FILLER	1. Gasóleo t	2. Energía MJ	3. CO ₂ t
Transporte desde fábrica de 1,25 t de cemento o cal (100 km)	4,0	138	11
Transporte desde cantera de 1,25 t de polvo calizo (50 km)	2,0	69	5
Transporte de 1,54 t de filler de recuperación a vertedero (25 km)	0,8	28	3

Tabla 3: Principales consumos y emisiones asociados a los transportes necesarios para la sustitución de una tonelada de filler de recuperación de los áridos por filler de aportación.

ENTRADAS/SALIDAS	Cal viva CaO	Cal apagada Ca(OH) ₂	Cemento Portland	Polvo calizo CaCO ₃
RECURSOS NATURALES kg de piedra caliza	2 500	1 892	1 950	1 250
ENERGÍA Eléctrica o térmica, MJ	11 633	9 232	7 758	1 309
EMISIONES kg de CO ₂	2 640	2 029	1 309	92
RESIDUOS kg filler de los áridos	1 540	1 540	1 540	1 540

Tabla 4: Principales consumos y emisiones totales asociados a la sustitución de una tonelada de filler de recuperación de los áridos por filler de aportación.

ENTRADAS/SALIDAS	Cal viva CaO	Cal apagada Ca(OH) ₂	Cemento Portland	Polvo calizo CaCO ₃
RECURSOS NATURALES kg de piedra caliza	88	66	68	43
ENERGÍA Eléctrica o térmica MJ	407	323	271	45
EMISIONES kg de CO ₂	92	71	46	3
RESIDUOS kg filler de los áridos	54	54	54	54

Tabla 5: Consumos y emisiones totales adicionales, por tonelada de mezcla bituminosa en caliente, causados por la sustitución de un 3,5% del filler de recuperación de los áridos por filler de aportación, según el tipo de material utilizado.

PRODUCCIÓN DE MBC	1. Áridos kg	2. Energía MJ	3. CO ₂ kg
Operación de planta	1 000	730	34,4

Tabla 6: Principales consumos y emisiones totales, por tonelada de mezcla bituminosa en caliente, según Strippel (2001).

porciones exigidas en la sustitución.

En nuestro estudio hemos supuesto que, por término medio, es posible manejar la planta asfáltica conservando un 4% del filler de los áridos en la mezcla en caliente, cuando la mezcla de áridos aporta cantidades comprendidas entre el 6 y el 8%. Hemos deducido la aspiración adicional de la figura 9 que conduce a que es necesario elevar en 1 m/s

la velocidad de la corriente de gases a través del tambor secador para que no más del 2% del filler de los áridos permanezca en la mezcla final [11]. La figura 10 elaborada utilizando, de nuevo, información de INTRAME¹ proporciona la variación del consumo de combustible con esa velocidad.

De este modo se ha construido la tabla 2, que muestra los impactos ambientales debidos a las operaciones

necesarias en la central para sustituir el filler de recuperación de los áridos.

5. Consumos y emisiones vinculados a los transportes necesarios para la utilización de filler de aportación

La sustitución del filler de recuperación de los áridos también da lugar a unos transportes adicionales que deben ser considerados en nuestro análisis:

1. Transporte del filler de aportación desde la fábrica de cemento o de cal hasta la planta de aglomerado, o bien,

2. Transporte del polvo mineral calizo desde la cantera hasta la planta y, en todo caso,

3. Transporte del filler de recuperación de los áridos no utilizado, desde la planta asfáltica hasta un vertedero autorizado.

En este estudio hemos supuesto que las fábricas de cemento o de cal se hallan a una distancia de 100 km de la planta asfáltica, la cantera caliza a 50 km y el vertedero a 25 km.

La asignación de consumos y emisiones se basa en los inventarios de Strippel (2001) que proporcionan consumos de 0,38 litros de gasoil y 13,3 MJ de energía, y emisiones de 1 050 g de CO₂, por vehículo y kilómetro, para un trayecto de ida cargado y regreso vacío.

Las hipótesis indicadas conducen a los resultados reseñados en la tabla 3.

6. Consumos y emisiones totales

Estamos ya en condiciones de estimar los principales consumos y emisiones totales asociados a la sustitución del filler de recuperación de los áridos. La tabla 4 muestra los valores asignados a algunos de los impactos ambientales totales para los

¹ D. Peinado (2004), comunicación personal.

distintos materiales estudiados cuando se utilizan como *filler* de aportación. Prescindiendo de la cal viva, material de utilización poco probable, puede verse como los mayores impactos corresponden al hidróxido cálcico cal en primer lugar; a continuación, al cemento; y, en tercer lugar, con mucha diferencia, al polvo mineral calizo.

Puede obtenerse una mejor valoración de estos resultados si la unidad de referencia es la tonelada de mezcla bituminosa. La *tabla 5* presenta los impactos correspondientes a la sustitución de un 3,5% del *filler* de recuperación de los áridos, proporción que podría considerarse representativa de las exigencias medias del PG-3, por cada tonelada de mezcla bituminosa fabricada.

Según el inventario de *Strippa* (2001), los valores típicos de esos impactos, por cada tonelada de mezcla bituminosa en caliente, puesta en obra, son los que se indican en la *tabla 6*.

Lo que nos permite afirmar que utilizar hidróxido cálcico como *filler* de aportación supone más que multiplicar por dos las emisiones de CO₂ (206% de incremento), elevar en un 44% los consumos de energía y en un 7% el consumo de áridos. Si el *filler* de aportación es cemento, las emisiones de CO₂ se incrementan en un 134%, el consumo de energía en un 37% y el de recursos naturales en un 7%. Finalmente, con polvo mineral calizo se tienen los resultados más moderados: 9% de incremento en las emisiones de CO₂, 6% en el consumo energético y 4% el de recursos naturales.

Podemos convertir estos resultados unitarios en valores absolutos utilizando las estadísticas de ASEF-MA⁽²⁾ que sitúan en el entorno de 41 millones de toneladas la producción total nacional de mezclas bituminosas en calientes en 2003. El *filler* de recuperación total susceptible de sustitución según el PG-3 se halla, bajo nuestras anteriores estimaciones, en el entorno de 1 435 000 t/anales. La *tabla 6* nos lleva así a

ENTRADAS/SALIDAS	Cal viva CaO	Cal apagada Ca(OH) ₂	Cemento Portland	Polvo calizo CaCO ₃
RECURSOS NATURALES t de piedra caliza	3 608 000	2 706 000	2 788 000	1 763 000
ENERGÍA Eléctrica o térmica, GJ	13 996 555	11 125 555	7 418 950	1 845 000
EMISIONES t de CO ₂	3 772 000	2 911 000	1 886 000	123 000
RESIDUOS t <i>filler</i> de los áridos	2 210 000	2 210 000	2 210 000	2 210 000

Tabla 7: Principales consumos y emisiones adicionales totales motivados por la sustitución del *filler* de recuperación producido anualmente por las plantas asfálticas en España, en función de los materiales utilizados como *filler* de aportación.

Utilizar hidróxido cálcico como *filler* de aportación supone más que multiplicar por dos las emisiones de CO₂

los resultados que se presentan en la *tabla 7*.

7. Conclusiones

Este texto ha pretendido insistir en la necesidad de la evaluación ambiental de las distintas alternativas disponibles antes de adoptar ninguna decisión relativa a la selección de *filler* idóneo para la fabricación de mezclas bituminosas en caliente. La importancia de las cantidades involucradas así lo pone de manifiesto.

Conviene recordar que, en muchos casos, es posible producir mezclas bituminosas satisfactorias utilizando el *filler* de recuperación de áridos que cumpla las prescripciones del PG-3. Numerosos estudios muestran cómo deducir las proporciones idóneas en que cada material debe ser empleado para obtener mezclas con propiedades equivalentes a las producidas por un cierto *filler* de referencia [12, 13].

La utilización de hidróxido cálcico, incluso en proporciones tan moderadas como las propuestas por algunos autores [6, 7], puede suponer emisiones de CO₂ adicionales que su-

peren los derechos reservados para algunos de los sectores incluidos en el anexo I del Real Decreto Ley 5/2004 de 27 de agosto, por el que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, que traspone la Directiva 2003/87/CE. En consecuencia no debería bastar, como sin duda puede hacerse, con probar los efectos benéficos de esta adición; habría que justificar con todo rigor la necesidad de acudir a una solución de balance medioambiental tan desfavorable cuando se compara con otras alternativas.

Lo mismo cabe decir de la elección del cemento, material que en las mezclas bituminosas es utilizado como relleno inerte, sin sacar tampoco partido de sus propiedades hidráulicas. Por último, debe considerarse que el *filler* de aportación calizo no suele ser una alternativa necesaria cuando el *filler* de recuperación de los áridos cumple con las exigencias del *filler* de aportación. Tiene poco sentido ecológico despreciar un material para sustituirlo por otro de características similares; asumiendo, además de los costes económicos, los ambientales que se han indicado, aunque estos costes sean inferiores a los generados por la utilización de hidróxido cálcico o cemento.

Se ha mostrado cómo el Análisis del Ciclo de Vida puede ser útil para realizar la valoración de distintas alternativas. Sin embargo, según se ha visto, todas las exigencias demanda-

² Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas.

das por las tecnologías sostenibles apuntan en el mismo sentido: minimizar el consumo de recursos naturales y los impactos sobre el entorno natural. El diseño de las mezclas bituminosas debiera proponerse, pues, el máximo aprovechamiento de un material que no es más que una parte de la fracción total inferior a 63 µm, de los áridos procesados en la central de fabricación.

Por último, no debe perderse de vista que las administraciones públicas han sido decididas impulsoras de la implantación de los Sistemas de Calidad con los que hoy cuentan la mayoría de las empresas productoras de mezclas bituminosas. De acuerdo con los principios de la Norma UNE-EN-ISO 9000:2000, la responsabilidad del control calidad debe delegarse en el fabricante, quien ha de ser autorizado a utilizar sus propios y particulares diseños y procedimientos, mientras sus productos alcancen la calidad exigida, como requisito indispensable para fomentar la mejora continua y la innovación empresarial [14]. La Norma UNE-EN-ISO 14000:96 y la obligatoriedad de prevenir la contaminación y los impactos ambientales en general, imponen considerar todas las posibilidades de reutilizar materiales cuyo vertido pueda evitarse.

Referencias

1. DE CARVALHO, A. (2001): *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento. Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, julio de 2001.
2. PETIT, J. et al. (1999): *Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice cores in Antarctica*. Nature 399, 3 June pp. 429-436.
3. MEBRATU, D. (1998): *Sustainability and sustainable development: Historical and conceptual review*. Environ Impact asses Rev. Elsevier Science Inc.
4. PARÍS, Anna. y SUBARROCA,



Fotografía 2: Central discontinua para la fabricación de mezclas bituminosas en caliente. En primer término, el tambor secador. La torre cilíndrica que puede observarse tras él alberga los silos de filler de aportación y recuperación.

Mar (2002): *Características del polvo mineral de recuperación y aspectos medioambientales relacionados con su empleo en la fabricación de mezclas bituminosas*. Revista CARRETERAS núm. 123.

5. DEL VAL, M. (2001): *Causas por las que aparecen roderos en las mezclas bituminosas*. Jornada Técnica sobre Problemas en la Fabricación y Puesta en Obra de las Mezclas Bituminosas. INTEVÍA. Madrid, julio de 2001.

6. VÁZQUEZ, E. (1997): *Efecto de la cal hidratada sobre las propiedades de las mezclas bituminosas*. ANCADE.

7. GALLEGO, J. (2002): *Efectos del hidrato de cal como aditivo de mezclas bituminosas*. Revista Carreteras, número 123, de septiembre-octubre de 2002.

8. GARCÍA, C. y DEL CERRO, J. (2002) *Utilización de Pavat como filler de aportación para la fabricación de mezclas bituminosas en caliente*. Revista Carreteras, número 123, septiembre-octubre de 2002.

9. STRIPPLE, H. (2001): *Life Cycle Assessment of Road. A pilot study for inventory analysis*. Second revised edition. Report from IVL Swedish En-

vironmental Research Institute. March 2001, Gothenburg, Sweden.

10. NC (1982): *Le recyclage en centrale des enrobés bitumineux. Note Technique provisoire*. Direction des Routes. LCPC-SETRA. Diciembre de 1982.

11. NAPA. (1999): *The fundamentals of the operation and maintenance of the exhaust gas system in a hot mix asphalt facility*. National Asphalt Pavement Association.

12. ORTÍZ RIPOLL, J. (2002): *Los efectos del polvo mineral en las mezclas bituminosas en caliente desde el punto de vista de sus propiedades fundamentales*. Revista CARRETERAS núm. 123

13. ORTÍZ RIPOLL, J. y SUBARROCA, M. (2004): *Influencia del polvo mineral en la reología de los materiales asfálticos. Indicadores útiles para la evaluación de sus efectos en el módulo complejo de las mezclas bituminosas en caliente*. Revista Ingeniería Civil CEDEX.

14. ORTÍZ RIPOLL, J. (2004): *Los nuevos Pliegos para mezclas bituminosas en caliente y la innovación tecnológica desde el punto de vista del constructor*. VI Congreso Nacional de Firmes. ■