

# ¿Sabemos cuál es, realmente, el ligante que gobierna el comportamiento de una mezcla reciclada y en qué proporción lo hace?

Jacinto Luis García Santiago,  
jacintoluis@outlook.com

Las mezclas asfálticas en caliente fabricadas en central con material reciclado (RAP) suelen considerarse equivalentes a las hechas con materiales nuevos, en cuanto a prestaciones, durabilidad y empleo.

En su diseño, caracterización y control de calidad se asume que el ligante que gobierna el comportamiento de la mezcla asfáltica reciclada es el resultante de la mezcla e interdifusión del ligante envejecido del RAP y el nuevo de aportación, tanto en aspectos cualitativos como cuantitativos. Pero este principio no siempre se cumple y la presencia de RAP inerte, ó "árido negro", hace que la combinación entre dichos ligantes pueda ser parcial o, incluso, inexistente, dependiendo de tecnologías y factores de producción que facilitan o dificultan esa difusión entre ligantes y su combinación, como son la temperatura en el RAP, la superficie de contacto entre el RAP y el ligante nuevo y el tiempo de contacto a alta temperatura de los ligantes.

El artículo analiza la influencia de los factores de producción de las mezclas recicladas con aportación de calor en el grado de combinación de ligantes y la verosimilitud de las hipótesis de mezcla total empleadas en diseño y control.

**Palabras Clave:** Reciclado, asfalto, betún, ligante, RAP.

Hot mix asphalt manufactured with recycled asphalt pavement (RAP) are usually considered equivalent to those made with new materials, in performance, durability, laying and use terms.

In its design, characterization and quality control it is assumed that the binder that governs the recycled asphalt mixture behavior is the result of the mixing and interdiffusion between the RAP aged bitumen and the new one bitumen, both in qualitative and quantitative aspects. But this principle is not always fulfilled and the presence of inert RAP, or "black rock", means that the combination between these binders can be partial or even non-existent, depending on technologies and production factors that facilitate or hinder this diffusion between binders and its combination, such as RAP temperature, the surface contact between the RAP and the new binder and the contact time at high temperature between the binders.

This paper analyzes the recycled mixtures production factors influence in the degree of binders combination and the likelihood of the hypothesis of total mixture used in design and control.

**Keywords:** Recycling, asphalt, bitumen, binder, RAP.

# ¿Sabemos cuál es, realmente, el ligante que gobierna el comportamiento de una mezcla reciclada y en qué proporción lo hace?

## 1. INTRODUCCIÓN Y PRINCIPIOS GENERALES DE LAS MEZCLAS RECICLADAS EN CALIENTE EN CENTRAL

En la década de los 70 y a raíz de la crisis del petróleo de entonces, se empezaron a desarrollar y aplicar técnicas de reciclado de los firmes bituminosos, con el objetivo primario de reducir los consumos de productos derivados del petróleo como el betún. Desde entonces, sucesivos y constantes avances han convertido a los firmes asfálticos en un perfecto ejemplo de economía circular, por su reciclabilidad y reutilización al final de cada ciclo de vida útil y ello, incluso, de un modo repetitivo.

Se suele considerar que las denominadas mezclas asfálticas recicladas en caliente en central son equivalentes a las mezclas bituminosas en caliente convencionales, en cuanto a prestaciones, durabilidad, condiciones de puesta en obra y empleo, si bien algunas normativas, como la española, todavía establecen algunas restricciones en este último punto y en su composición. Esta misma consideración se aplica a las mezclas recicladas fabricadas a baja temperatura (templadas y semicalientes)

Para apoyar esta equivalencia de prestaciones, además de la caracterización de la mezcla asfáltica reciclada en laboratorio, se asumen algunos principios, siendo uno de los relevantes el de considerar que el ligante de la misma, el que define y gobierna su comportamiento, es el resultante de la mezcla y interdifusión de los ligantes presentes en ella: del envejecido presente en el material reciclado (RAP, acrónimo de Reclaimed Asphalt Pavement, que se usará en adelante) y del nuevo de aportación (ya sea betún, aditivo o combinación de éstos)

### 1.1 Determinación del ligante teórico con combinación total de ligantes en la mezcla

Cuando se produce la mezcla total de los ligantes, con la difusión dentro del ligante envejecido del nuevo de aportación, propiedades de esa mezcla de ligantes responden a leyes de mezcla, como las logarítmicas en el caso de la penetración, que se muestra a continuación [2], por lo que se pueden estimar las características del betún resultante en función de las del be-

$$P_s = 10 \frac{L \times \text{Log}(P_l) + V \times \text{Log}(P_v)}{100}$$

tún viejo del RAP y del ligante nuevo y de las proporciones de ambos en la mezcla.

donde:

$P_s$  = Penetración de la mezcla de ligantes (mm/10)

$L$  = Proporción de ligante nuevo en la mezcla (% en peso)

$P_l$  = Penetración del ligante nuevo (mm/10)

$V$  = Proporción de ligante envejecido en mezcla (% en peso)

$P_v$  = Penetración del ligante envejecido (mm/10)

El ligante nuevo a añadir se define, así, en función del contenido del ligante viejo en la mezcla (que depende su dotación en el RAP y de la tasa de reciclado) y de las características de éste. Suele ser un betún más blando o, en su caso, de características regenerantes, de modo que el ligante resultante se corresponda o tenga propiedades aproximadas a las de un betún nuevo adecuado para la mezcla a diseñar.

Así, conocida la penetración del betún del RAP y la tasa del reciclado se puede deducir cuál debe ser la penetración necesaria en el betún nuevo.

De igual modo, a partir de las penetraciones del ligante del RAP y de la del betún nuevo que se disponga, se puede estimar cuál sería la tasa máxima de reciclado.

En su caso, se definen otras propiedades como la composición del ligante regenerante o de los aditivos que se añaden para compensar componentes envejecidos del ligante del RAP, por pérdida de aromáticos y exceso de asfaltenos y obtener unas propiedades adecuadas en el ligante de la mezcla final

### 1.2 Principios asumidos en la normativa y en las guías de diseño

En la recientemente aparecida revisión del Artículo 22 del PG-4, RECICLADO EN CALIENTE Y SEMICALIENTE EN CENTRAL DE CAPAS BITUMINOSAS [1], se asume ese principio de mezcla total de los ligante. Así en su apartado 22.4.2 "Ligante hidrocarbonado de aportación" se dice:

*"El ligante de aportación será seleccionado en función de la proporción y las características del ligante envejecido del RAP, de forma que al combinarse con éste se obtenga un ligante con características similares a las de los indicados en el artículo 542 del PG-3, en función de la capa de firme a la que se destine la mezcla bituminosa reciclada, de la zona térmica estival en que se encuentre y de la categoría de tráfico pesa-*

do”

Sin embargo, no se acaba de concretar cómo se debe conseguir esa combinación de ligantes ni cómo se debe controlar que se consigue, más allá de indicar en el apartado 22.4.4.3 que “*El ligante hidrocarbonado procedente del RAP tratado, deberá ser susceptible de mezclarse homogéneamente con el de aportación y dar lugar a un producto de características similares a los betunes especificados en el artículo 542 del PG-3*” y deja al criterio del Director de Obra la aceptación de aspectos que lo condicionan, como la de aceptar los tiempos de mezclado en el apartado 22.7.1.2 de Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.

Esa suposición, de que en una mezcla reciclada en caliente se produce una mezcla total de los ligantes presentes en ella, el envejecido presente en el RAP y el nuevo de aportación, está presente en las normativas, en las guías de diseño y en las prácticas habituales de control de calidad.

A pesar de su relevancia, en las normativas y prácticas de control suele ser un denominador común la indefinición de cómo asegurar que se produzca esa mezcla total de ligantes.

Sin embargo, este principio no siempre se cumple, puesto que la combinación entre dichos ligantes, que puede ir desde una mezcla y difusión total entre ambos hasta una mezcla parcial o, incluso, a una mezcla y difusión inexistente, depende de múltiples factores del proceso de fabricación que pueden alterar el grado de mezclado y que se tratarán de clarificar en este artículo.

## 2. UNA CUESTIÓN CLAVE: ¿CÓMO ES EL LIGANTE QUE GOBIERNA LA MEZCLA RECICLADA? ¿DE QUÉ DEPENDE?

Las diferencias entre dos mezclas similares correctamente diseñadas, una formada con materiales nuevos o vírgenes y otra que incluye material reciclado, sólo radicarían en la diferente contribución e influencia del ligante envejecido del RAP en las propiedades del ligante final que gobierna la mezcla, fruto de su combinación, o no, con el ligante nuevo de aportación y en la influencia de partículas de RAP no disgregado en la granulometría real de la mezcla.

El grado de mezclado y combinación entre los ligantes citados puede ir desde una mezcla y difusión total entre ambos (con lo que el ligante resultante sí es el resultante de la combinación teórica de los mismos, con las leyes antes citadas) hasta

una mezcla parcial ó, incluso, a una mezcla y difusión inexistente. En estos últimos casos, el nuevo ligante forma una capa de recubrimiento alrededor de las partículas de RAP, sin penetrar en ellas, aunque con una difusión parcial, estratificada de más a menos conforme se progresa hacia el interior de la partícula, que lo rigidizaría.

Por eso, un factor clave es el grado de “activación” del ligante del RAP, es decir, ¿cuánto del viejo ligante participa e interactúa con el nuevo ligante y cuánto está presente de un modo inerte, dentro de un árido negro?. Esa activación del ligante envejecido presente en el RAP depende de factores que facilitan o dificultan la difusión entre los ligantes y su combinación como:

- La temperatura en el RAP.
- La superficie de contacto entre el RAP y el ligante nuevo, que depende del grado de disgregación del RAP.
- El tiempo de contacto a alta temperatura (o baja viscosidad) entre los ligantes.

Por ello, una condición fundamental para que se logre una mezcla íntima del viejo ligante del RAP con el nuevo de aportación, sería que el grado de disgregación del RAP fuese muy alto o total, lo cual sólo se conseguiría en caliente, a temperaturas por encima del punto de reblandecimiento de su ligante, y con aplicación de cierta energía de disgregación en el mezclador.

### 2.1 Un problema: El árido negro

Hay que tener en cuenta que, en el momento de la mezcla, pueden persistir partículas de RAP formadas por **trozos de mezcla no disgregada**, lo que puede resultar frecuente si la temperatura de calentamiento del RAP y/o la energía y el tiempo de acción del mezclador resultan insuficientes.

Estos trozos contienen, a su vez, varias fracciones de áridos y mortero y su interacción con el ligante nuevo se produciría solamente en su contorno, pudiendo permanecer el resto de ligante viejo, el de su interior, como un inerte. Presentarían poca o muy poca interacción de su ligante con el nuevo de aportación, con lo que se podría decir que actúa como un árido grueso más. (Lo que, en general, ocurre en los reciclados en frío).

Se comportarían, a efectos de clasificación granulométrica y superficie a envolver, como una fracción gruesa de **árido negro**, por lo que se también se conocen como black rock en la

## ¿Sabemos cuál es, realmente, el ligante que gobierna el comportamiento de una mezcla reciclada y en qué proporción lo hace?

literatura [2].

El estado de activación del betún envejecido que forma parte de una partícula de árido negro, es decir su mezclado y difusión con el nuevo ligante y/o aditivo añadido en el proceso de reciclado, podría esquematizarse como se indica en la Figura 1, con una difusión y mezcla de ligantes parcial, en el contorno de esa partícula de RAP. Difusión que se estratificaría de más a menos según se progresa hacia el interior de la partícula

visión teórica con el que se ha hecho la caracterización y formulación de la mezcla en el laboratorio, estando muy mediado por el proceso industrial de fabricación.

En todo caso, resulta muy difícil determinar con ensayos de control de la producción sobre la mezcla reciclada fabricada, cuál ha sido el grado de disgregación del RAP, si hay presencia de áridos negros en la misma, cuánto es el ligante no activado y cuál es y que características tiene el ligante activa-

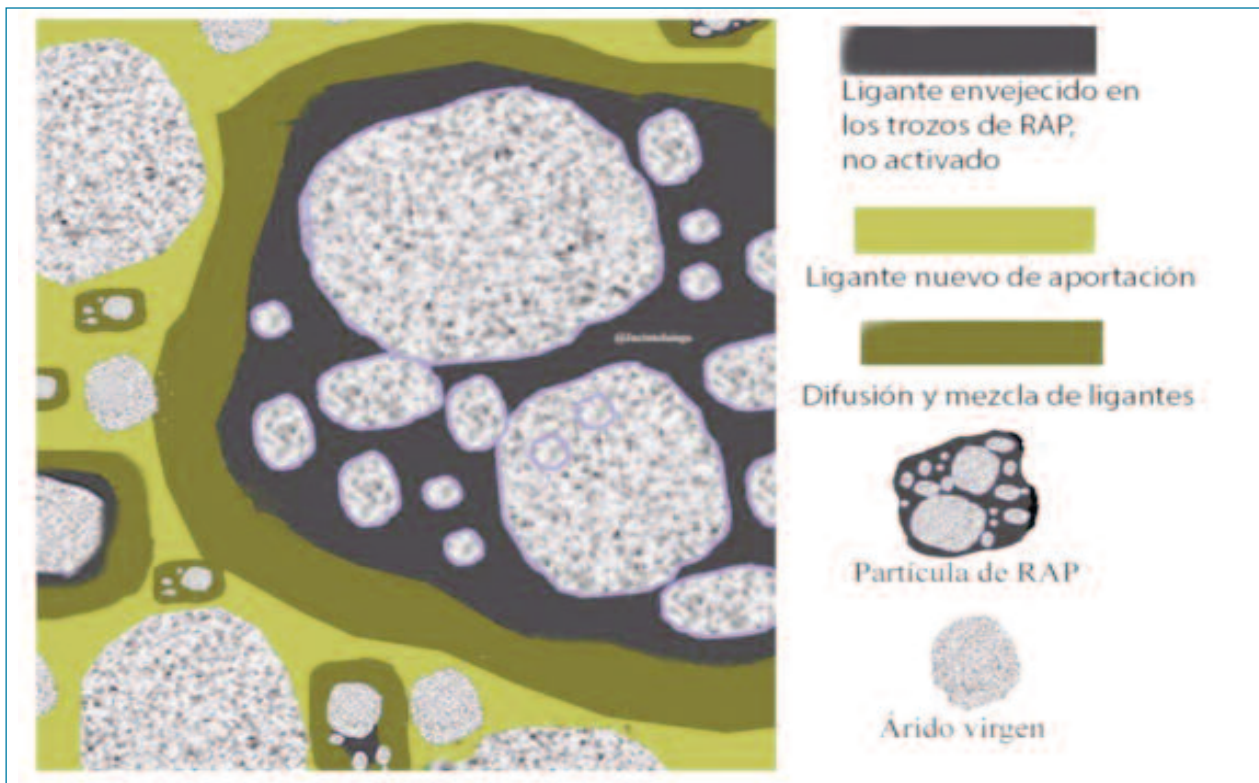


Figura 1. Esquema de mezcla y difusión de los ligantes del RAP y el de aportación en la película de envuelta de los áridos

de árido negro.

La presencia de RAP no suficientemente disgregado en la mezcla, que puede reducir sustancialmente la cantidad de ligante viejo activable, está estrechamente ligado a la tecnología de producción empleada, al modo de calentamiento del RAP y de la mezcla, al grado de disgregación obtenido en el RAP, al proceso y duración de la fase de mezclado y al tiempo de interacción (aún a alta temperatura) entre el ligante viejo del RAP y el nuevo ligante y/o aditivos añadidos.

### 2.2 El ligante "real". Dudas razonables

El ligante que realmente gobernará el comportamiento de la mezcla reciclada puede diferir sustancialmente del de la pre-

do.

Si bien existen algunos procedimientos capaces de discriminar la penetración del ligante nuevo en el viejo del RAP, como el descrito en [4], no son prácticos como control de producción, en el cual los métodos habituales determinan el contenido de ligante total, sin poder distinguir entre el activo y el inerte.

Asimismo, los métodos de recuperación de ligante provocan una mezcla, a posteriori, de los ligantes presentes en la muestra, obteniéndose así un ligante único, que no tiene por que ser representativo del estado en que están en la mezcla reciclada.

El grado de combinación real de los ligantes está muy ligado al proceso de fabricación de la mezcla reciclada, aspecto

que, sin embargo, no solía estar adecuadamente contemplado ni en los métodos de diseño de las mezclas con RAP ni en los procedimientos de control de calidad de la mezcla fabricada. La reciente actualización del Art 22 del PG.4 ha incluido algunas indicaciones, ya citadas, que pretenden poner el foco en este punto, aunque acaban remitiéndose a la consabida autorización del Director de Obra, sin concretarle métodos o parámetros objetivos para darla.

### 3. LA MEZCLA DE LOS LIGANTES Y SU CONTROL

Los procedimientos de diseño y los métodos de elaboración de mezcla para los ensayos en el laboratorio no contemplan, sino muy raramente, cómo será el proceso real de producción, definiendo la formulación independientemente de la tecnología de producción, con unos tiempos y secuencias de mezclado que pueden estar alejados del proceso de producción industrial de la mezcla. Es muy raro que se especifique adecuadamente cómo deben cumplirse en planta la hipótesis de mezclado y cómo deben controlarse, siendo los estudios de formulación de mezclas recicladas en caliente o baja temperatura, con abundante frecuencia, un ejemplo de disociación entre lo teórico (diseño en laboratorio) y lo práctico (fabricación en planta)

Asimismo, los procedimientos de control de calidad habituales de la mezcla reciclada sólo pueden visualizar el contenido conjunto de ambos ligantes (se hayan mezclado o no) y, en caso de determinación de sus características, darían las de la mezcla resultante de ambos, sin poder individualizar.

Existe, por tanto, una cierta indeterminación en los controles del proceso de mezcla del RAP y nuevos componentes y de su influencia en la mezcla efectiva de ligantes y en las propiedades del ligante resultante. Indirectamente, se dispone de las propiedades derivadas de ensayos sobre la mezcla, aunque algunas, ligadas al comportamiento y evolución a largo plazo, puedan quedar poco precisadas. Todo ello, puede llevar a disparidades entre el comportamiento de la mezcla reciclada fabricada en planta y la prevista en el laboratorio.

Por ello, un entendimiento del proceso de fabricación, de las variables del mismo, del método de calentamiento del RAP y sus límites para no afectar negativamente a su ligante, de su reblandecimiento y grado de disgregación en caliente alcanzado, la regulación de tiempos y energía de mezclado previos a la incorporación del nuevo y ligante y/o aditivo, el tiempo y

temperatura de interacción posterior de los ligantes, etc., parece necesario para mantener el proceso bajo control y obtener una mezcla con características regulares.

Por ejemplo, variaciones del proceso que lleven a un insuficiente calentamiento y disgregación del RAP, llevarán a una reducción sustancial de la superficie de interacción con el ligante nuevo y a una reducida, o incluso nula, difusión y mezcla entre ambos ligantes, alterando, las características de la mezcla.

Es el caso, que se presenta con frecuencia, cuando se procesa RAP excesivamente húmedo o se intenta una mezcla con una tasa más elevada de la posible con la tecnología aplicada, en cuyo caso en la mezcla habrá trozos de RAP (árido negro, AN) deficientemente integrados, se podría decir que sólo “hacen bulto”. Además, los “áridos negros” introducen variaciones en la mezcla, aportando una granulometría real distinta de la deducida tras los ensayos, ya que los AN presentes en la mezcla, una vez extraído o incinerado su ligante, mostrarían la granulometría de su constitución, no la del grano individual que representan realmente en la mezcla

### 4. MÉTODOS DE INCORPORACIÓN DE LIGANTES Y ADITIVOS EN LA PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS RECICLADAS

Básicamente hay dos procedimientos de incorporación del nuevo ligante y/o aditivo de aportación, para su posterior mezcla con el envejecido del RAP, distinguiéndose según que se haga en una sola fase (el habitual y común) o bien en dos fases con un cierto desfase temporal.

**En una fase única.** Es el habitual. La incorporación del nuevo ligante (y/o aditivo) debe llevarse a cabo siempre después de que el RAP ha alcanzado suficiente temperatura, por encima de su punto de reblandecimiento, para que pueda lograr un alto grado de disgregación. Ello implica que no solamente debe haber habido una fase previa de calentamiento del RAP (directo o por transferencia de calor desde los áridos sobrecalentados), sino también una fase de disgregación en caliente con el mezclador, lo que supone unos tiempos adicionales de mezcla en seco. Asimismo, es en el tiempo de mezclado en húmedo cuando se materializa la mezcla íntima de ambos ligantes, mientras están a alta temperatura.

**En dos fases.** En una primera fase se calienta solamente el

## ¿Sabemos cuál es, realmente, el ligante que gobierna el comportamiento de una mezcla reciclada y en qué proporción lo hace?

RAP, a temperaturas relativamente elevadas (120°-140°C) por medio de gas caliente y se añade un aditivo regenerante en un mezclador (donde se alcanza la disgregación final de los trozos de mortero), llevándolo a un silo en caliente donde permanece un cierto tiempo, para que interactúen el aditivo con el betún viejo del RAP, regenerando y corrigiendo las propiedades de éste. Después de un tiempo prefijado (que puede llegar a una o varias horas), se procede a una segunda fase de fabricación de la mezcla con la adición de áridos y ligante vírgenes. Es un procedimiento sofisticado y complejo, pero muy eficaz, que se emplea en Japón, donde son habituales los reciclados con RAP procedente a su vez, de mezclas recicladas

### 5. FACTORES DE PRODUCCIÓN DETERMINANTES Y SU CONTROL

El punto fundamental y principio básico en las mezclas recicladas hechas con aportación de calor, tanto en reciclados en caliente como reciclados a baja temperatura (semicalientes y templados), es asegurar que se produce la mezcla de los dos ligantes (el viejo contenido en el RAP y el nuevo de aportación) y ello, ya se ha indicado que depende de:

- La temperatura en el RAP y, consiguientemente, de su ligante
- La superficies de contacto entre el RAP y el ligante nuevo
- El tiempo de contacto entre ligantes en estado de relativa fluidez.

y para conseguirlo hace falta:

- a) Llevar al RAP a una **temperatura** suficientemente elevada, bastante por encima del punto de reblandecimiento del betún viejo, antes de proceder a añadir el ligante nuevo.

El estado inicial del RAP (su granulometría y, principalmente, su humedad), la tecnología de fabricación empleada y el procedimiento aplicado, pueden asegurar este punto o, por el contrario, hacer que sea complicado o incierto conseguirlo.

Por ejemplo, uno de los métodos más comunes en plantas discontinuas, en el que se calienta el RAP exclusivamente mediante transferencia de calor desde áridos vírgenes sobrecalentados (sin precalentamiento previo del RAP), necesita un tiempo adicional de mezclado del RAP

y los áridos (mezcla en seco) para poder secar y llevar al RAP a esa temperatura antes de añadir el ligante nuevo. Ese incremento de tiempo afecta negativamente al rendimiento de la planta y, consecuentemente, al coste de fabricación. Punto delicado, por tanto.

- b) Suficiente grado de **disgregación en el RAP**, es decir eliminación de la presencia de “áridos negros” en la futura mezcla reciclada. De ello depende la superficie específica de contacto y una envuelta eficaz con el nuevo ligante. El grado de disgregación conseguido depende tanto de la energía aplicada en el mezclador como de la temperatura a la que está el RAP mientras se aplica. Por otra parte, la energía que aplica un mezclador de ejes contrapuestos (que, a su vez varía con el grado de llenado y el tiempo de activación), no es la misma que la de un tambor mezclador, que es inferior a la de aquél.

Por ello, el proceso real de producción asociado al tipo de planta empleada, y los ajustes de la misma, condicionan en gran manera el grado de mezclado efectivo entre el ligante del RAP y el virgen de aportación y que esa mezcla se aproxime al planteamiento del diseño, de mezcla total, o que ésta sea parcial o muy poco lograda.

#### 5.1 Tipologías de producción de mezclas recicladas en relación con la mezcla de los ligantes.

Según cómo se produzca el calentamiento del RAP se deben distinguir dos tipos básicos de instalaciones de fabricación de mezclas recicladas:

- a) Plantas de doble tambor, que disponen de un **tambor secador específico para el calentamiento del RAP**, el cual se lleva a cabo mediante aportación directa de calor con gases calientes del quemador.

El tipo más común usa secaderos de flujo paralelo, que permiten llevar el RAP a temperaturas en el entorno de los 120°C, que suele ser la temperatura límite para no afectar al ligante del RAP.

Recientemente han aparecido tambores de contraflujo, con recirculación de gases y control preciso de la temperatura de los mismos en el trayecto de calentamiento del RAP, mucho más eficientes térmicamente y que permiten elevar la temperatura del RAP al rango 150-160°C, preservando las propiedades de su ligante. (Figura 2)

Es evidente, que se supera con creces la temperatura de

reblandecimiento del ligante del RAP, aun estando éste muy envejecido, por lo que estas tipologías garantizan la inexistencia de árido negro y el cumplimiento de las hi-

control, para asegurar el cumplimiento de las hipótesis de diseño en cuanto a mezcla efectiva de ligantes, el viejo del RAP y el nuevo de aportación.

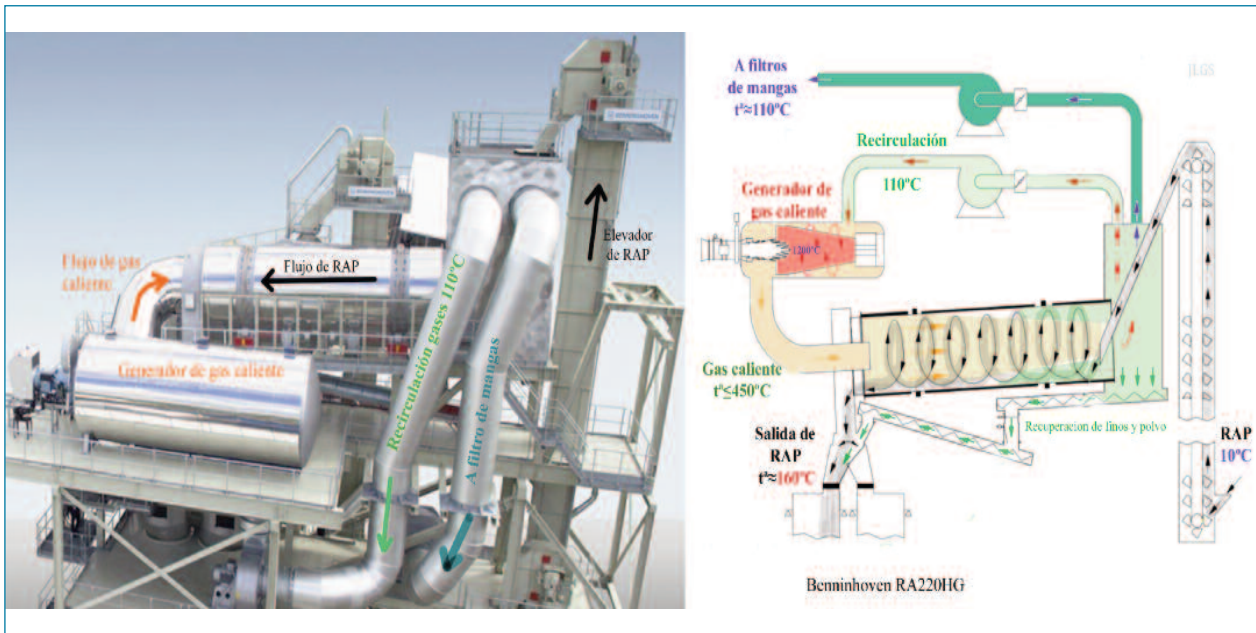


Figura 2. Tambor específico para calentamiento de RAP en contraflujo (Benninhoven)

pótesis de mezcla de ligantes, no presentando ninguna reserva en este aspecto ni precisando controles específicos al respecto.

Este sistema permite llegar a tasas muy altas de reciclado, incluso total y asegura totalmente unas condiciones de disgregación del RAP y fusión de su ligante que proporciona las mejores condiciones para asegurar la combinación de ese ligante con el nuevo (y aditivos, en su caso) de aportación.

b) Plantas en las que el calentamiento del RAP se efectúa mediante **transferencia de calor** desde los áridos vírgenes, que se han sobrecalentado con respecto a la temperatura normal para la fabricación de la mezcla.

Es la tipología más extendida, pero es en ella donde pueden aparecer deficiencias en la temperatura conseguida en el RAP y en el grado de su disgregación, dando lugar a presencia de árido negro y a una insuficiente mezcla de los ligantes.

Por ello, en lo que sigue, se analiza con detalle en este tipo de plantas, y sus procesos, la influencia de los diversos factores de producción en el calentamiento y grado de desmenuzamiento del RAP y como se debe establecer su

## 6. ¿CÓMO ASEGURAR UNA BUENA DISGREGACIÓN Y CALENTAMIENTO DEL RAP CON TRANSFERENCIA DE CALOR? UN MÉTODO PARA PREFIJAR LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN

Como ya se ha indicado repetidamente, la disgregación del RAP debe hacerse en caliente, una vez superado ampliamente el punto de reblandecimiento de su ligante de modo que la energía aportada por el mezclador a un mástic muy reblandecido, en estado plástico-líquido, permita el desmenuzamiento de los trozos de RAP hasta individualizar todas las partículas de áridos que lo constituyen. En ese estado, previo a añadir el nuevo ligante, el RAP ya no presentaría elementos tipo AN, sino áridos envueltos en ligante.

Es por ello que parece interesante definir alguna metodología con la que se puedan fijar las condiciones de producción que pueden favorecer/asegurar esa mezcla efectiva de los ligantes viejo y nuevo, de modo que el ligante que gobierna el comportamiento de la mezcla se asemeje al previsto en el diseño, resultado de la combinación total o en alta proporción de los mismos. El control de calidad tendría esos parámetros de producción como puntos de inspección importantes a te-

## ¿Sabemos cuál es, realmente, el ligante que gobierna el comportamiento de una mezcla reciclada y en qué proporción lo hace

ner bajo control.

¿Cómo se pueden establecer y prefijar los parámetros de producción para obtener un mezclado satisfactorio, de modo que puedan emplearse como controles de calidad del mezclado?

Un método que parece muy adecuado consiste en la fabricación de mezcla (pero sin aportar ligante nuevo) para obtener muestras, que se podrían denominar "**Muestras en gris**", y observar en ellas el grado de reblandecimiento del ligante del RAP y la disgregación de los áridos negros a través de la envuelta conseguida en los áridos vírgenes exclusivamente con el ligante viejo.

Esta línea es la sugerida en el apartado 22.7.1.2 del ya citado Art. 22 del PG-4 [1], Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo, que dice:

*"Los tiempos de mezclado del RAP con los áridos y el ligante de aportación (y el eventual producto rejuvenecedor), vendrán determinados por la homogeneidad de la mezcla, la total desaparición de los nódulos del RAP y la integración de todos los ligantes presentes. El tiempo total de permanencia de la mezcla bituminosa reciclada en el mezclador será aquel que garantice un amasado uniforme homogéneo y eficaz (re-*

*blandecimiento del ligante envejecido), y deberá ser aprobado por el Director de las Obras."*

Mediante la obtención de diversas **muestras en gris**, en correspondencia con distintos tiempos de mezclado y temperaturas y observando en ellas la envuelta de los áridos nuevos, a los que se van adhiriendo el ligante y mortero del RAP, se puede prefijar la combinación adecuada de tiempos de mezcla y temperaturas conseguidas.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo del aspecto tras varios tiempos de mezcla en seco.

Durante la producción el control debe tener en cuenta las temperaturas y esos tiempos mínimos de mezcla predeterminados, necesarios para conseguir la "fusión" y disgregación del RAP

Entender este aspecto permitiría definir y mantener bajo control aquellas variables del proceso de fabricación que pueden generar presencia de elementos de RAP no disgregados, después de la fase de mezclado.

Esta metodología debería perfeccionarse a través de una sistematización para poder incluirla como control en los proyectos.

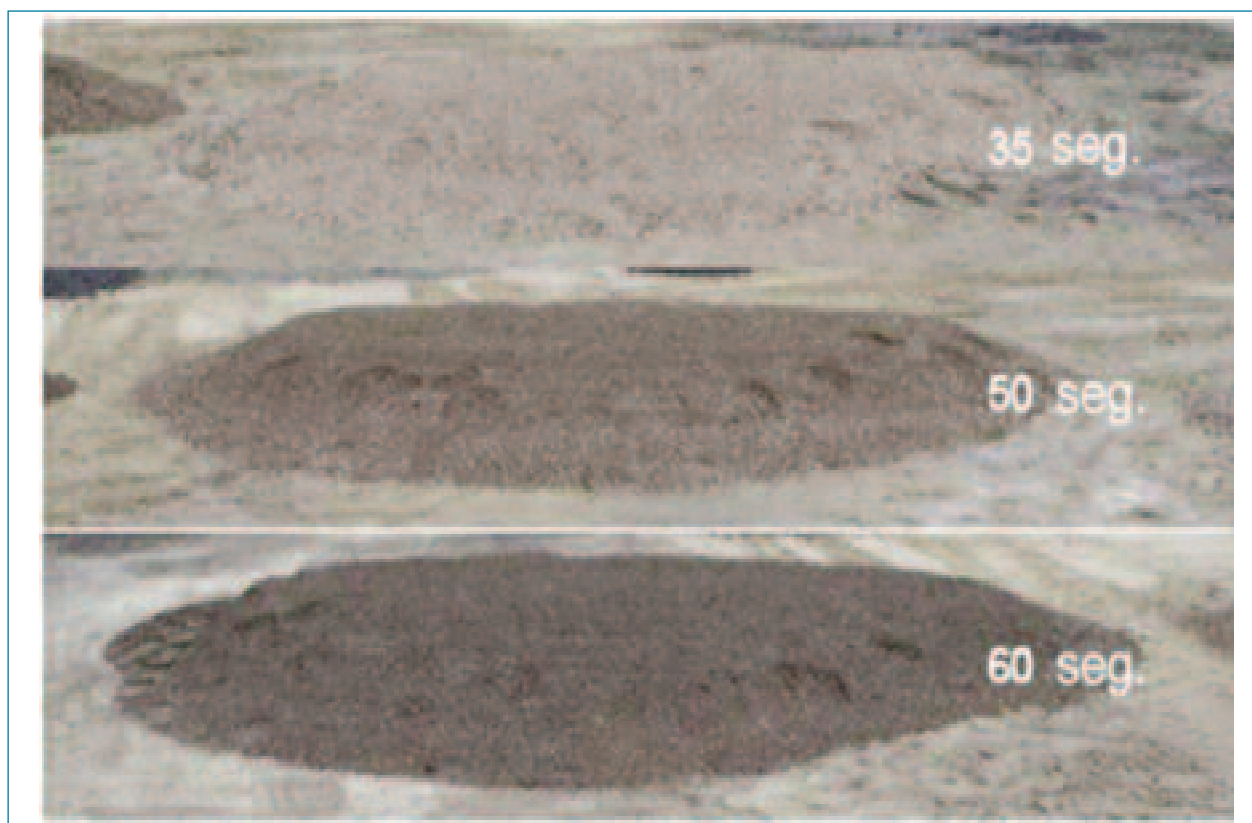


Figura 3. Muestras "en gris" de mezcla de RAP y áridos con distintos tiempo de mezclado



## 6.1 Aplicación en plantas discontinuas, sin tambor específico para RAP

En la tipología más extendida, la de plantas discontinuas, existen dos métodos para incorporar RAP a la mezcla:

a) En la base del elevador de áridos en caliente.

Sólo se emplea con tasas muy bajas de reciclado, generalmente por debajo del 10% y ello porque este método consigue un calentamiento correcto del RAP, por encima del punto de fusión de su ligante, lo que da lugar, como contrapartida, a problemas por su pegajosidad en las mallas de las cribas, siendo el factor limitativo de la tasa de RAP. No presentan problemas de temperatura o disgregación en el RAP y aseguran la combinación de su ligante con el nuevo, sin embargo, las mezclas con estas bajas adiciones de RAP no se suelen considerar mezclas recicladas ni se les aplica la normativa específica de éstas. (Art. 22 de PG.4).

b) En el mezclador, junto con los áridos sobrecalentados (se fija un límite superior a la temperatura de éstos, establecida en 220°C en la normativa) y el ligante virgen, y/o aditivo en su caso, resultando muy sencillo variar los tiempos de mezclado de los materiales introducidos en el mezclador.

Corresponden a esquemas como el de la Figura 4, siendo muy común su empleo con tasas de RAP no superiores al 30% en el caso de reciclados en caliente, en el entorno del 40% en reciclados semicalientes y de hasta el 60% en reciclados templados.

La aportación de RAP a temperatura ambiente se hace al mezclador, o a la báscula, a donde llegan los áridos vírgenes sobrecalentados, que calientan el RAP transfiriéndole su calor. Algunos aspectos importantes a determinar y controlar son:

- Por un lado el calentamiento del RAP, para llegar a la temperatura que permita su disgregación completa, exige un tiempo de contacto con los áridos sobrecalentados (cuya temperatura, por normativa, no debe superar los 220°C.) para absorber su calor y aumentar su temperatura, eliminando el agua de su humedad. Ello implica un cierto **período de mezcla en seco, adicional** al estándar de las mezclas convencionales. El objetivo sería superar de modo homogéneo (no sólo en la superficie sino en la masa de los trozos de RAP) la temperatura del punto

de reblandecimiento del ligante del RAP.

- Por otra parte, la **energía del mezclador**, no sólo se aplica en homogeneizar la mezcla de áridos y RAP, sino en conseguir su disgregación a alta temperatura. Su eficacia es alta y suficiente, una vez superada la temperatura de reblandecimiento. Esta energía depende, no sólo del tiempo de aplicación, sino del grado de llenado del mezclador.

- Y, por último, el nuevo ligante, que debe aplicarse una vez que se haya alcanzado la temperatura prevista para su mezcla con el conjunto de áridos y RAP, actuará sobre la mayor superficie de contacto conseguida con un RAP disgregado, precisando un mayor batido para conseguir un buen contacto y reparto en el mástico viejo, en condiciones de menor viscosidad.

Variando estos factores (temperatura, tiempos de mezclado e, incluso si fuese necesario, volumen de amasada), se determina cuál es la combinación óptima a través de sucesivas muestras en gris.

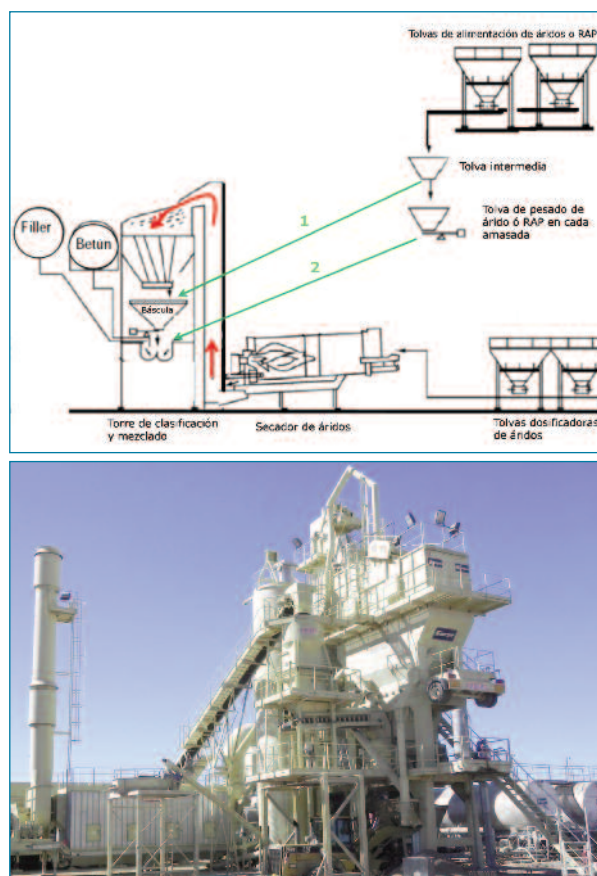


Figura 4. Soluciones en planta discontinua para reciclado con adición de RAP frío al mezclador

## ¿Sabemos cuál es, realmente, el ligante que gobierna el comportamiento de una mezcla reciclada y en qué proporción lo hace?

Como norma general, habrá un incremento de los tiempos de mezclado, tanto en seco como en húmedo, que tiene una repercusión directa sobre la caída de rendimiento en la fabricación y, por tanto y de una forma muy directa, un encarecimiento, que puede llegar a ser significativo, en la fabricación de la mezcla.

En mezclas fabricadas con esta tecnología es donde se suelen observar más problemas en el comportamiento de la capa, ya que es un procedimiento con un cierto riesgo si no se ejecuta adecuadamente (a costa de una cierta pérdida de rendimiento), susceptible a deficiencias en el proceso de homogeneización de temperatura y disgregación del RAP, por lo que en el control de este proceso se debe ser muy cuidadoso.

### 6.2 Aplicación en plantas continuas.

Modernamente suelen dotarse de un mezclador independiente, similar al de las discontinuas, por lo que la determinación de las temperaturas y tiempos de mezclado se puede hacer como se acaba de describir.

En las plantas en las que el mezclado se hace con un tambor, ya sea el propio, otro diferenciado o uno concéntrico externo, la regulación es algo más compleja, y el tiempo de residencia o de mezclado dependerá de la velocidad de giro y del flujo del material, que se determinarán de un modo similar, con muestras "en gris".

## 7. CONCLUSIONES

En el diseño, caracterización y control de calidad de las mezclas asfálticas en caliente fabricadas en central con material reciclado (RAP) se asume como principio base que el ligante que gobierna el comportamiento de la mezcla asfáltica reciclada es el resultante de la mezcla e interdifusión del ligante envejecido del RAP con el nuevo de aportación, tanto en aspectos cualitativos como cuantitativos.

En el artículo se ha analizado la influencia de los factores de producción de las mezclas recicladas con aportación de calor en el grado de combinación de ligantes y la verosimilitud de las hipótesis de mezcla total empleadas en diseño y control.

Cuando el calentamiento del RAP se efectúa exclusivamente por transferencia de calor desde los áridos vírgenes sobrecalentados existe el riesgo de que el citado principio no se cumpla, debido a la presencia de RAP no suficientemente

disgregado ("árido negro") y caliente, que hace que la combinación entre dichos ligantes pueda ser parcial o, incluso, inexistente.

Como no hay ensayos prácticos de control de calidad de la mezcla que permitan la verificación del grado de mezcla entre el ligante del RAP y el aportado, este control debe hacerse sobre parámetros del proceso de producción, como los tiempos del proceso de mezclado, prefijados, tal como se indica y propone en el artículo, mediante observación visual de muestras "en gris".

## 8. REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Fomento-Dirección General de Carreteras (2018).-Orden Circular 40/2017 sobre reciclado de firmes y pavimentos bituminosos
- [2] Rebecca S. et al. Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method (2000) NCHRP WD30
- [3] Usama Heneash- (2013) Effect of the Repeated Recycling on Hot Mix Asphalt Properties- Nothinghan Univ. thesis
- [4] Nuria Uguet et al.-Eurovia (2018). Rehabilitación del firme en la A7. Un reciclado pionero- XIII Jornada Asefrma-Madrid.