

# PRODUCCIÓN DE MEZCLAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN

Marisol Barral<sup>1</sup>, Mari Mar Colas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Campezo Obras y servicios s.a., San Sebastián, España, [mbarral@campezo.com](mailto:mbarral@campezo.com)

<sup>2</sup> Cepsa, Madrid, España, [marimar.colas@cepsa.com](mailto:marimar.colas@cepsa.com)

## Resumen

Desde la asociación Española de Emulsiones Bituminosas, ATEB; se está desarrollando una monografía que versa sobre la producción de mezclas bituminosas templadas con emulsión con o sin RAP en su composición. Se encuentra en una fase de redacción avanzada, y se prevé su publicación en la WEB de ATEB para el próximo mes de junio de 2019.

El objetivo de esta monografía, es el de aportar información sobre las particularidades que tiene la fabricación de mezclas templadas con emulsión con sus posibles variables, es decir, con y sin incorporación en su composición de RAP, en base a la experiencia Española y de otros países. Por todo ello, este documento se centra exclusivamente en el proceso de fabricación de mezclas bituminosas templadas con emulsión y se describirán, las características generales y requisitos mínimos necesarios que deben disponer las plantas asfálticas para la fabricación de este tipo de mezclas. Por lo tanto, no se van a tratar en este documento aspectos relativos al control de calidad de estas mezclas ni su puesta en obra, que ya han sido tratadas en otra Monografía de Mezclas Templadas con emulsión de ATEB [1].

Esta comunicación se va a centrar en los aspectos más relevantes relativos a la fabricación de mezclas bituminosas templadas con emulsión en las que se incorpora RAP en su composición incluidas, en la nueva monografía anteriormente citada.

**Palabras Clave:** Mezclas bituminosas templadas con emulsión, RAP, sostenibilidad, medio ambiente.

## 1 Introducción

Las Mezclas Bituminosas Templadas con Emulsión, en adelante MBTE, se definen como la combinación homogénea de áridos (incluido el polvo mineral y/o RAP), emulsión bituminosa como ligante y eventualmente aditivos, de manera que todas las partículas de los áridos quedan recubiertas por una película homogénea de ligante. El proceso de fabricación requiere calentar previamente los componentes, limitándose la temperatura final de la mezcla a la salida del mezclador entorno a los 100°C. Estas MBTE pueden diseñarse para reutilizar material de fresado procedente de pavimentos envejecidos, en diferentes porcentajes pudiéndose alcanzar con esta técnica de reciclado en central tasas de hasta el 100%. En este caso se denominarán Mezclas Bituminosas Templadas Recicladas con Emulsión, en adelante MBTRE.

Se define RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), al material procedente de la disgregación de las capas de mezclas bituminosas envejecidas (rodadura, intermedia o base), obtenido mediante fresado o demolición, eventual trituración y posteriormente tratado. Este material debe estar compuesto por áridos de calidad con una determinada granulometría, cubiertos por betún asfáltico envejecido.

Según se indica en la O.C. 40/2017 [2].sobre reciclado de firmes y pavimentos bituminosos, todos los materiales recuperados de mezclas bituminosas podrán ser susceptibles de ser reutilizados, incluidos los excedentes de fabricación de cualquier tipo de mezcla bituminosa que, sin presentar problemas de calidad en cuanto a sus componentes y envuelta, no hayan sido colocados en obra (material sobrante, rechazado en la extensión por baja temperatura, etc.), con las excepciones que se indican a continuación.

No podrán ser reutilizados aquellos materiales que contengan o se encuentren contaminados por sustancias potencialmente peligrosas, ni aquellos que presenten en su composición sustancias

procedentes de la destilación de productos carbonosos, asbesto-amianto, ni ningún otro que esté clasificado como peligroso, o que no cumpla la legislación ambiental y de seguridad y salud vigente.

## 2 Aspectos generales relativos al constituyente RAP

En cuanto a los constituyentes a emplear, no se han de tener en cuenta consideraciones especiales salvo los requerimientos necesarios y establecidos en las normativas correspondientes (Marcado CE, etc) y los propios como si se tratara de una mezcla bituminosa en caliente habitual, en función del tipo de mezcla que se trate y su colocación en la capa del firme. No obstante, a continuación se va a tratar el tratamiento a tener en cuenta sobre el RAP.

Un aspecto fundamental, en cualquier mezcla en la que se utiliza RAP, es lo relativo a la obtención, tratamiento, caracterización y gestión adecuada de este material, procedente de actuaciones de demolición o fresado de firmes bituminosos envejecidos.

En primer lugar, debe utilizarse como si de un árido más se tratara, considerando el pavimento del que procede como una cantera alternativa a las de explotación de áridos vírgenes y realizando los pasos necesarios para que su aportación en la mezcla sea controlada y no genere dispersiones en la homogeneidad de la misma que puedan afectar a la calidad.

En segundo lugar, el RAP posee betún envejecido recubriendo los áridos a reutilizar. Esto introduce una serie de nuevos tratamientos a realizar, con el fin de poner en valor de nuevo este material, como los que se describen a continuación.

### 2.1. Obtención del RAP

Para obtener el RAP es necesario realizar una serie de técnicas que permitan la extracción del material bituminoso de los pavimentos o firmes envejecidos, es decir, la disgregación de estos pavimentos se lleva a cabo mediante dos técnicas principalmente: Demolición mecánica o Fresado.

#### Demolición mecánica.

Efectuada mediante levantamiento con pala o retroexcavadora, es una alternativa muy usada en demoliciones de firmes, en especial cuando no hay requisitos precisos de reutilización posterior del material en procesos de reciclado o necesidad de un saneo por fresado para sustitución de un determinado espesor del firme. Se genera así un material troceado en bloques, con una cierta heterogeneidad de tamaños, que necesitará un tratamiento posterior por trituración y clasificación. No obstante este método, debe realizarse evitando la contaminación del RAP con material granular de las capas subyacentes de la explanada, ya que puede condicionar su uso.

Este proceso no distingue las diferentes capas del pavimento, extrayendo desde la rodadura hasta la base al mismo tiempo y realizando una producción de RAP con áridos de diferentes procedencias, con diferentes tipos de mezclas y con diferentes proporciones de ligante. Esto dificulta la obtención de un RAP homogéneo, por lo que será necesario un riguroso tratamiento posterior que pueda llegar a garantizar esa homogeneidad.

#### Fresado

El fresado en frío es la técnica utilizada para retirar un determinado espesor de firme obteniéndose una superficie plana y regular para el posterior apoyo de nuevas capas de mezclas bituminosas. La granulometría y tamaño máximo del producto obtenido por fresado son función de las características y estado de integridad de la capa a fresar, de la velocidad de avance de la fresadora, del espesor de fresado y de las características de la fresadora y del tambor utilizado. Así pues, se pueden diferenciar dos casos:

##### *a) Fresado seleccionado por capas*

Se obtiene un RAP homogéneo, fresando las diferentes capas del firme y acopiando el material resultante por separado, mejorando así la homogeneidad del mismo. Mediante este proceso y tras un post

tratamiento de trituración y/o cribado, se pueden llegar a reutilizar altas tasas de RAP en la fabricación de las nuevas mezclas mediante la técnica de reciclado templado.

#### *b) Fresado profundo*

Se procede a disgregar con el tambor de fresado todo el espesor necesario de pavimento que posteriormente se debe reponer, retirando varias capas de diferentes mezclas bituminosas al mismo tiempo. Esta alternativa, al igual que en caso de la demolición obliga a tener un tratamiento posterior mínimo.

### 2.2 Tratamiento del RAP

La monografía trata los siguientes aspectos:

#### Acopio del RAP

A la central de fabricación de la mezcla bituminosa, podrán llegar materiales bituminosos procedentes de firmes y pavimentos envejecidos de distintos orígenes y características según el tipo de material, tipo de mezcla bituminosa fresada y la técnica de obtención utilizada. Este aspecto es fundamental y hay que tenerlo muy en cuenta a la hora de proceder a su almacenamiento ya que con esta operación se puede minimizar heterogeneidades en el material, lo cual es fundamental para la calidad final de la nueva mezcla templada reciclada (MBTRE). Por todo ello, estos materiales se acopiarán de forma selectiva en la central de producción para su eventual tratamiento y posterior utilización. Para minimizar que el RAP presente heterogeneidad en su composición e induzca a una falta de calidad de la MBTRE, se debe; llevar el máximo control posible de su procedencia, control por tipo de mezcla, capa/árido, que posteriormente generarán acopios diferenciados.

- realizar acopios diferenciados por tipo de mezclas, así por ejemplo un acopio de mezclas tipo AC no contendrá más de un 20% de mezclas bituminosas distintas a éstas para preservar su posible homogeneidad.

- reducir la heterogeneidad, realizando tratamientos de mezclado, trituración y posterior clasificación por fracciones.

La homogeneidad del RAP es un aspecto fundamental, ya que la regularidad conseguida en la nueva mezcla dependerá de éste, tanto en la granulometría como en las características y contenido de ligante. Esta homogeneidad va a ser un parámetro crítico, que puede limitar su tasa. Además, hay que tener en cuenta que el RAP presenta problemas añadidos en su proceso de acopio. En primer lugar se puede generar en función del tiempo acopiado una costra en la superficie del acopio de entre 25 y 30 cm de espesor, por efecto de su exposición a la intemperie. Esta costra debe ser retirada, antes de pasar al proceso de fabricación con la pala cargadora. Para reutilizar el RAP encostrado se debería someter de nuevo a un proceso de disgregación. En segundo lugar, los acopios de RAP (sobre todo los de las fracciones finas en las que se haya podido clasificar) no drenan igual que los áridos vírgenes. Esta humedad dificulta los procesos de fabricación y aumenta la energía necesaria en el proceso productivo. Por este motivo se recomienda disponer de los acopios de RAP bajo cubierta.

En definitiva, el RAP que se incorpore al proceso de producción será homogéneo, no contendrá ningún tipo de elemento contaminante, y estará totalmente caracterizado y referenciado. Si fuera necesario, se someterá en la central a un tratamiento previo de trituración, eliminación de elementos metálicos contaminantes y homogeneización mediante clasificación, para convertirlo en un material apto para su uso en la nueva mezcla. Estos procesos convertirán el producto original acopiado en un RAP tratado.

#### Trituración y/o clasificación del RAP

Para la fabricación de mezclas bituminosas en las que se incorporan RAP con tasas mayores del 20%, es recomendable realizar un proceso de clasificación del mismo en al menos dos fracciones. Esto se puede realizar mediante un proceso únicamente de cribado. Durante esta operación se elimina el tamaño máximo del árido por rechazo y, al mismo tiempo, reduce la cantidad de RAP

disponible a utilizar. Por ello, el cribado suele implementarse con un proceso previo de trituración que permite aprovechar más RAP en bruto. Normalmente el RAP se clasifica en dos tamaños; uno fino, en fracciones similares a las que se pueden encontrar en arenas de cantera, y otro grueso, que comprenda los tamaños intermedios de árido de cantera, siempre limitado por el tamaño máximo del árido de la mezcla nueva a fabricar. Atendiendo a esta clasificación se puede tener: RAP fino: 0/6 o 0/8 mm; RAP grueso: 6/22 o 6/32 o 8/22 o 8/32 mm

No obstante, el RAP se puede clasificar en un mayor número de tamaños, lo cual mejoraría el control de la mezcla final en especial con tasas altas o totales de RAP. Si bien es cierto, que no es lo más habitual ya que además supone disponer de un mayor número de tolvas de alimentación en frío en la planta asfáltica. Los equipos idóneos para la trituración de RAP dependen de su proceso de obtención previo (fresado o demolición).

Para el caso del RAP proveniente del fresado es recomendable utilizar molinos específicos llamados comúnmente granuladores que desmenuzan las partículas más gruesas formadas por aglomeraciones de áridos gruesos, finos y betún.

Para el caso de demoliciones de pavimentos, es necesario utilizar molinos similares a los utilizados en la fabricación de áridos de cantera. Siendo habituales los trituradores de impacto de tipo martillo.

### 2.3. Caracterización del RAP tratado

Para la utilización de cualquier acopio de RAP tratado, es necesario realizar un control de calidad del material acopiado para conocer sus características ya que esto nos permitirá posteriormente definir el tipo de emulsión a utilizar y la tasa de RAP a utilizar según el tipo de mezcla nueva a fabricar. Las características a determinar son las siguientes:

#### 2.3.1 Homogeneidad

Para determinar la homogeneidad del RAP acopiado se debe analizar la granulometría de los áridos tras la extracción del ligante, y su contenido. El acopio se considerará homogéneo cuando la granulometría de los áridos tras la extracción del ligante, el contenido de éste y su penetración, cumpla las tolerancias admisibles según la siguiente tabla:

Tabla 1. Tolerancias admitidas para considerar un RAP homogéneo [2].

Característica	Media de 4 resultados	Valores individuales
<b>Tamices &gt;2 mm</b>	±4%	±7%
<b>Tamiz 2 mm</b>	±3%	±6%
<b>Tamiz 0.063 mm</b>	±1%	±2%
<b>Ligante residual</b>	±0.3%	±0.5%

#### 2.3.2 Humedad

La humedad en el RAP afecta de modo importante a la fabricación de MBTRE, lo que puede limitar de modo acusado la tasa de reciclado y/o la operativa de fabricación en cuanto a temperaturas, pegajosidad, manejabilidad, filtro de mangas, secado de materiales, etc. El RAP tiene una gran facilidad para aglomerarse en sus fracciones, principalmente las más finas por efecto del calor, insolación y humedad, que además se ve favorecido por su propio peso lo que crea “costrones” en el contorno del acopio.

Por ello, en el acopio, se recomienda adoptar varios tipos de actuaciones en orden de severidad:

- Acopios bajo cubierta.
- Acopios con cobertura temporal (lámina de plástico), en épocas de paralización de los trabajos o de lluvias (forma cónica o alargada de no excesiva altura).

### 2.3.3 Sustancias contaminantes

Atendiendo a lo que se establece en la O.C. 40/2017 [3]. en su artículo 22, el RAP tratado estará exento de materiales procedentes de residuos de construcción y demolición, y especialmente de aquellos que en la fabricación de la mezcla reciclada pudieran producir merma en sus propiedades o contaminación. El contenido de materia extraña gruesa y fina para el grupo 1 y 2 de materiales según la norma UNE-EN 12697-42 deberá ser inferior al 1% en masa para el grupo 1 y del 0.1% en masa para el grupo 2.

### 2.3.4 Ligante envejecido del RAP

El ligante procedente del RAP tratado, deberá ser susceptible de mezclarse homogéneamente con el ligante de aportación (emulsión bituminosa) y dar lugar a un ligante de características similares a los betunes especificados en el artículo 542 del PG-3. Para ello es necesario una caracterización específica del ligante envejecido mediante ensayos de penetración y punto de reblandecimiento, como mínimo.

### 2.3.5 Áridos recuperados

Los áridos procedentes del RAP tratado no presentarán signos de meteorización y tendrán las propiedades de calidad adecuadas a las exigidas a los áridos de aportación. Sus propiedades se evaluarán con los mismos ensayos de control para los áridos de cantera.

## 3 Equipamiento específico para fabricar MBTRE

Mientras que en la etapa de puesta en obra las MBTRE no requieren de particularidades para ello, en la etapa de fabricación es necesario realizar algunas consideraciones. Las especificidades más reseñables, tanto para plantas continuas como discontinuas, de todo el proceso de fabricación son:

- Un número adecuado de tolvas de alimentación en frío del RAP en función de las fracciones en que se hayan clasificado.
- Depósitos independientes y calorifugados para la emulsión bituminosa.
- Sistema de mezclado que permita regular los tiempos de amasado en seco y en húmedo.
- Extractor de vapores en el mezclador.
- Tambor secador específico para el calentamiento del RAP.

La fabricación de MBTRE se puede realizar en plantas específicamente diseñadas para ello o bien en las mismas plantas que las mezclas bituminosas en caliente realizando algunas modificaciones y/o ampliaciones.



Figura 1. Planta asfáltica en continuo diseñada específicamente para la fabricación de MBTE

### 3.1 Circuito de la emulsión bituminosa

La temperatura del circuito y el sistema de dosificación de la emulsión bituminosa deben de garantizar el empleo de las emulsiones en las condiciones adecuadas y establecidas. Por ello, han de disponer de un circuito independiente para la emulsión que va desde los tanques, pasando por el caudalímetro y/o balanza que permite la dosificación, hasta el mezclador. No se recomienda utilizar el mismo circuito que el del betún de las plantas de fabricación de mezclas en caliente puesto que se contaminaría el circuito y se podría generar un problema de seguridad.

En caso de una planta continua, la bomba debe disponer de un variador de velocidad para ajustar la cantidad a dosificar, ajustándose ésta a la producción y/o masa total de áridos. Si se trata de plantas discontinuas se recomienda una báscula adecuada para pesar este tipo de ligante. En el mezclador, se requiere disponer una rampa de inyección con difusores, recomendándose que sean independientes a los del betún.

En las tuberías y conexiones de todos los elementos anteriormente citados se recomienda disponer de sistemas de calorifugado con control de temperatura, de tal forma que permita adecuar el trasiego del ligante, evitar sobre calentamientos que provoquen la evaporación del agua de la emulsión y mantener la temperatura de almacenamiento y/o fabricación de la mezcla.

### 3.2 Circuito del árido de aportación

El circuito de alimentación del árido de aportación constará de las mismas unidades que serían necesarias si se tratará de fabricar una mezcla bituminosa en caliente. Se dispondrá de una alimentación en frío con una serie de tolvas y unos dosificadores que llevan el árido a la entrada del tambor secador. Hasta este punto, el circuito es igual que el de una planta asfáltica en caliente.

Los áridos de aportación, se introducen en un tambor secador rotatorio, con un quemador o mechero adecuado para trabajar a las temperaturas requeridas por estas mezclas según la tasa de RAP. Si se quiere trabajar con una planta convencional de caliente, al bajar la temperatura del mechero, diseñado para trabajar a temperaturas superiores, hay que tener especial cuidado con la combustión ya que una mala combustión podría contaminar los áridos y aumentar las emisiones a la atmosfera.

El calentamiento de los áridos de aportación para la fabricación de las MBTRE tiene las siguientes funciones:

- Elevar la temperatura a la requerida para poder realizar la envuelta correctamente y obtener una mezcla con una temperatura final entorno a los 100 °C. Esta temperatura de calentamiento del árido de aportación dependerá de su humedad, de la tasa de RAP a emplear en la nueva mezcla y del sistema de calentamiento que disponga la planta, como veremos más adelante.
- Eliminar el filler sobrante adherido a los áridos para lograr buena adhesividad y una correcta formulación.

Dentro del tambor secador existen unas piezas metálicas o paletas con diferentes formas, según donde estén colocadas dentro del tambor. Su función es voltear el árido creando una cortina en el extremo contrario a la llama del quemador, conducirlo en su interior, y ocultarlo de la llama para evitar su contacto directo. Si queremos fabricar con un tambor secador convencional, se debería incorporar al tambor secador un variador de frecuencia, modificar la velocidad del mismo así como la posición de las paletas, para conseguir la cortina de áridos óptima para trabajar con MBTRE.

Los quemadores pueden ser de diferentes tipos ya sean de baja o de alta presión. Además de poder funcionar con diferentes tipos de combustible, aceite pesado, diésel, gas, etc... Dentro del calentamiento de los áridos debemos buscar la máxima eficiencia energética, ya que es una de las partidas importantes dentro de los costes de fabricación.

### 3.3 Circuito del RAP tratado

Para llevar a cabo el calentamiento del RAP existen tres métodos posibles:

- 1) Método directo. Consiste en calentar directamente el RAP tratado o las distintas fracciones del RAP tratado, a través de un tambor secador específico para ello a una temperatura entorno a los 100 °C. El RAP una vez caliente pasaría directamente al mezclador evitando las cribas en caliente.

En este caso, se logra calentar el RAP mediante aportación directa de calor con el empleo de sistemas de calentamiento específicos en los cuales se evita el contacto directo con la llama del quemador del tambor secador, y que no discorra por áreas de excesiva temperatura de gases, para preservar las características del ligante del RAP.

A continuación se presentan un esquema para fabricar mezclas templadas con sistemas de doble tambor, siendo uno de ellos específico para el calentamiento del RAP.

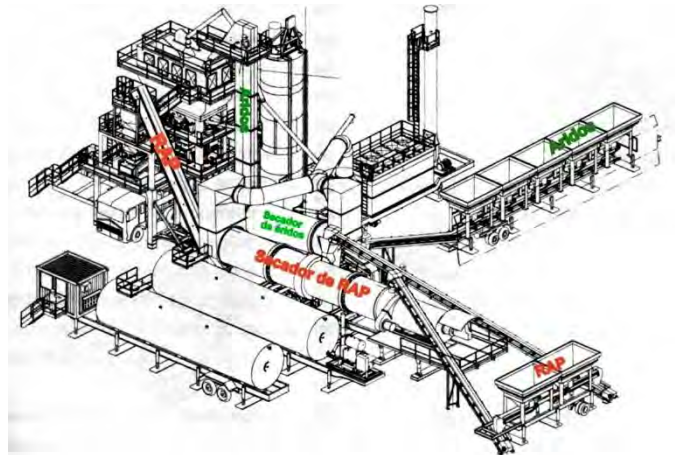


Figura 2. Esquema de la fabricación de MBTRE con doble tambor.

2) Método indirecto. Consiste en calentar el RAP tratado por transferencia de calor a partir de los áridos de aportación. En este caso, al RAP tratado se alimenta frío, con su humedad y va directamente al mezclador. El RAP se une a los áridos de aportación sobrecalentados a una temperatura tal que la mezcla final este entorno a los 100 °C, pero teniendo en cuenta la limitación de nunca sobrecalentar el árido de aportación por encima de los 220 °C.

Esta forma de fabricar MBTRE condiciona la tasa máxima de RAP a emplear, en función de la humedad del RAP, sus características granulométricas y del tipo de mezcla final deseada.

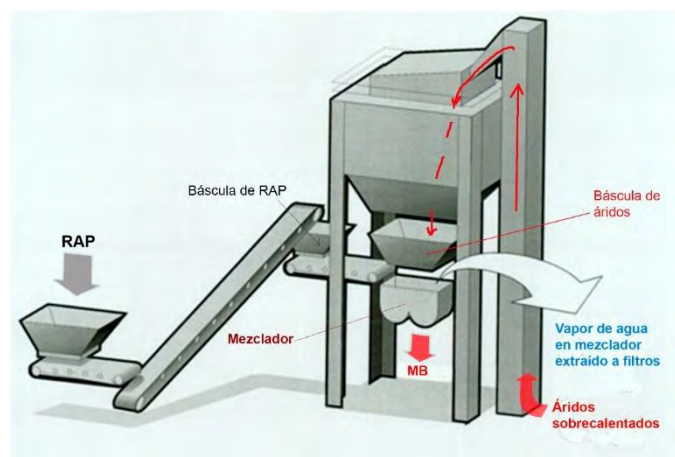


Figura 3. Esquema de la fabricación de MBRTE por el metodo indirecto.

3) Método mixto. Como el nombre indica, consiste en una combinación de ambos sistemas para la fabricación de la MBTRE.

En general, no son adecuados, y por tanto deben evitarse, los sistemas de calentamiento del RAP con excesiva exposición de éste a altas temperaturas, como puede ser los tambores secadores convencionales de contraflujo, ya que al pasar el RAP por delante de la llama del quemador, en la zona de máxima

temperatura, degradaría el ligante en forma excesiva, además de aparecer problemas de pegajosidad en otras partes de las plantas por el reblandecimiento del ligante procedente del RAP.

Otros inconvenientes a solventar son:

Atascos en diferentes partes de las plantas (dependiendo del tipo) como en las cintas de entrada al mezclador, elevador de canjilones, entrada del by-pass, etc. Sobre las que habrá que tener especial vigilancia. Suciedad en el filtro de mangas, ya que no se elimina adecuadamente la humedad debido a las bajas temperaturas del propio proceso productivo lo que puede provocar el deterioro de los filtros de mangas.

### *3.3.1 Sistemas de calentamiento del RAP*

La alimentación del RAP tratado (de acopio) a la planta asfáltica se lleva a cabo al igual que los áridos de aportación, a través de unas tolvas en frío receptoras del material, cuyo número será igual al número de fracciones de RAP que se vayan a utilizar y éste se alimenta directamente por dos vías posibles: la primera al mezclador (pesado previamente) y la segunda, un tambor secador específico para el calentamiento del RAP.

#### *a) Sistema de calentamiento directo del RAP tratado*

Partiendo de la premisa de que el calentamiento del RAP tratado debe hacerse de forma que se evite la afección a las propiedades del ligante envejecido del mismo, existen varios sistemas de calentamiento directo del RAP tratado que se enumeran a continuación:

1-Tambores secadores de flujo paralelo. El RAP se incorpora en una zona del tambor alejada de la llama.

2-Tambores secadores en contracorriente con incorporación del RAP fuera de calentamiento y corriente de gases calientes (normalmente aire caliente), como son los quemadores adelantados, mezclador concéntrico o tambor concéntrico para RAP y tambor mezclador retrasado. Las plantas con un tambor secador independiente para el RAP tratado, deberán estar provistas de silos para almacenar en caliente el RAP y de un sistema de dosificación ponderal específico e independiente. Cuando se empleen sistemas de recepción de RAP ya calentado, las tolvas de dosificación deben de tener una geometría adecuada y por lo tanto diferente de la utilizada para áridos de cantera para evitar su pegajosidad y bloqueo de los sistemas de incorporación al mezclador.

3-Incorporación del RAP tratado mediante un anillo de reciclado. El RAP tratado se introduce al tambor secador a través de un anillo de reciclado a una distancia tal que la temperatura alcanzada no afecte a las características del ligante del RAP. En las centrales de fabricación continua con tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación deberá ser ponderal para el RAP, y se deberá tener en cuenta la humedad de éste así como la del árido de aportación. La central debe disponer de un dispositivo que permita la incorporación del RAP tras la llama, de forma que no exista riesgo de contacto con ella. Últimamente se han desarrollado tambores secadores específicos que son capaces de calentar el árido de aportación y el RAP a la vez.

Por cualquiera de estos sistemas de calentamiento directo del RAP, es posible reutilizar hasta el 100% del RAP tratado.





Figura 4. Planta continua de flujo paralelo con la incorporación del RAP por el centro del tambor.

#### 4-Sistema de doble tambor

El RAP tratado se introduce a un tambor secador específico para calentar el RAP, independiente del tambor de secado de los áridos de aportación.

##### *b) Sistema de calentamiento indirecto del RAP tratado*

En el caso de tasas máximas de RAP tratado no superior al 40-50%, el procedimiento a seguir es sobrecalentar el árido de aportación a la temperatura necesaria (por normativa no deben superarlos 220 °C), en función de la humedad, tipo de mezcla y características del RAP y contenido de emulsión, para conseguir una mezcla final a una temperatura entorno a los 100 °C.

El sistema consiste en incorporar el RAP frío directamente al mezclador mediante una cinta transportadora desde la alimentación en frío, previamente pesado, sin pasar por la cribas en caliente. En el mezclador se produce la transferencia de calor del árido de cantera al RAP tratado. En este momento, y mediante este sistema de calentamiento indirecto del RAP, es importante establecer unos tiempos de mezclado en contacto con los áridos de aportación sobrecalentados para conseguir los siguientes objetivos:

Por un lado, que el RAP alcance la temperatura necesaria para su calentamiento y eliminación de la humedad. Ello implica tiempos de amasado en seco incrementados con respecto a las mezclas en caliente. El objetivo sería superar de modo homogéneo (no sólo superficialmente sino en toda la masa del RAP) la temperatura del punto de reblandecimiento del ligante envejecido del RAP.

Por otra parte, la energía del mezclador, no sólo se aplica para homogeneizar la mezcla de áridos y RAP, sino para conseguir su disgregación. Su eficacia es alta una vez superada la temperatura de reblandecimiento. Esta energía depende no solo del tiempo de mezclado sino también del nivel de llenado del mezclador.

Y, por último, la emulsión bituminosa, debe aplicarse una vez que haya alcanzado la mezcla de áridos y RAP la temperatura prevista, para que actúe sobre la mayor superficie de contacto conseguida con un RAP disgregado, siendo necesario un mayor tiempo de amasado, para conseguir una buena envuelta y temperatura. 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 amasadas. Como norma general, habrá un incremento de los tiempos de mezclado, tanto en seco como en húmedo, que tendrá una repercusión directa sobre un menor rendimiento en la fabricación.

Existe la posibilidad que en casos de tasas máximas de RAP tratado entorno al 10-15%, el sistema de calentamiento es muy sencillo. Se trata de incorporar el RAP frío en la base del elevador de los áridos de aportación en caliente tras su salida por el quemador, de tal forma, que el RAP adquiera temperatura por transferencia del calor de los áridos de cantera. El inconveniente de este sistema es que al pasar el RAP caliente por la criba para su clasificación (únicamente plantas discontinuas), puede quedar pegado

en las mallas originando una disminución de la eficiencia del cribado, por tupido de las mismas. Por ello, se limita a cantidades muy bajas de RAP (máximo del 15%).

### 3.4 Mezclador

Una vez descritos los distintos sistemas para la fabricación de las MBTRE, las recomendaciones a tener en cuenta en el proceso de amasado de la mezcla son:

La secuencia de entrada de materiales al mezclador recomendable es la siguiente: árido-RAP-emulsión-polvo mineral.

Tanto en el caso de las plantas de fabricación continua como discontinua, el proceso de mezclado se realiza de forma similar a las plantas convencionales de mezclas en caliente. Los tiempos de mezclado han de ser tales que se consigan las temperaturas indicadas en la fórmula de trabajo. A tal fin, existe un sistema de control automático de la temperatura de la mezcla en el mezclador. Tanto en las plantas convencionales de fabricación de mezcla bituminosa en caliente, que se adapten para la fabricación de MBTRE, como en las plantas específicas de fabricación de mezclas templadas, es recomendable contar con un sistema de ventilación en la zona superior del mezclador, de modo que el vapor de agua acumulado pueda ser eliminado. En caso contrario, este vapor de agua acumulado puede dar lugar a errores de pesada en la báscula de áridos en caliente y puede atascar la incorporación de filler.

Posteriormente, ya sea la planta continua o discontinua, la MBTRE puede verterse directamente a camión para su posterior extendido o bien trasladar la mezcla, mediante algún tipo de medio mecánico, a un silo anexo de mezcla calorífugado. A la salida del mezclador, tras la amasada completa, la mezcla debe presentar un aspecto homogéneo y todas sus partículas deben estar cubiertas de ligante. La temperatura de la mezcla no será superior a los 100 °C.

## 4 Tasas de RAP según su sistema de calentamiento

### 4.1 Calentamiento directo

Entre otros factores, como por ejemplo la humedad del RAP, el sistema de calentamiento del RAP que se disponga en la planta delimitará la tasa máxima a incorporar en la nueva mezcla bituminosa mediante la técnica de reciclado templado. No obstante, esta técnica de reciclado en central nos permite llegar a porcentajes de utilización del RAP tratado de hasta el 100%.

En las siguientes tablas se presentan las tasas máximas recomendables de RAP que se suelen utilizar en función del tipo de calentamiento, el tipo de planta y el tipo de incorporación.

Tabla 2. Tasas máximas de RAP para plantas asfálticas en continuo.

Calentamiento del RAP tratado	Tambor secador de flujo paralelo			Contraflujo
	Tambor mezclador	Mezclador separado	Tambor secador específico y mezclador separado	Tambor secador específico y mezclador separado
% Tasa máx. RAP	20%	70%	80-100%	100%

Tabla 3. Tasas máximas de RAP para plantas asfálticas discontinuas

Calentamiento del RAP tratado e incorporación	Tambor único secador de áridos		Doble Tambor (áridos + RAP)
	En elevador	En mezclador	Tambor secador RAP, antes del mezclador
% Tasa máx. RAP	10-15%	40-50%	100%

En las plantas que disponen de doble tambor o de tambores específicos para el calentamiento del RAP, es decir, un tambor específico para su calentamiento se puede alcanzar tasas de hasta el 100%. Ahora bien, si la planta no dispone de un tambor secador específico para el calentamiento del RAP y se utiliza el método indirecto, es decir la transferencia de calor a partir de los áridos de aportación, existe una limitación en la tasa que estará condicionada a la humedad y características del RAP y al tipo de mezcla reciclada a fabricar.

#### 4.2 Calentamiento indirecto

En el caso de calentamiento indirecto del RAP, el intercambio de calor se produce en el mezclador y es el árido de aportación el que se calienta a una temperatura elevada pero no superior a 220 °C para conseguir que la mezcla alcance la temperatura final deseada entorno a los 100 °C. Para determinar la temperatura de calentamiento de los áridos de aportación se puede emplear la siguiente formula, según se indica en la O.C. 40/2017:

$$T_{\text{ARIDOS}} = (T_{\text{mezcla}} - \text{RAP} T_{\text{RAP}}) / (1 - \text{RAP}) + ((H_{\text{RAP}}(637 - T_{\text{RAP}}) 4 \text{RAP} (1 - \text{RAP})) \quad (1)$$

donde

$T_{\text{ARIDOS}}$  es la temperatura de los áridos de aportación en °C,  $T_{\text{mezcla}}$  es la temperatura final de la mezcla en °C, RAP es la tasa de RAP en la mezcla en porcentaje,  $H_{\text{RAP}}$  es la humedad del RAP en porcentaje y  $T_{\text{RAP}}$  es la temperatura de RAP en °C.

Si aplicamos esta ecuación (1) para un RAP que se encuentre a una temperatura ambiente de 20 °C con diferentes contenido de humedad, obtenemos el siguiente gráfico.

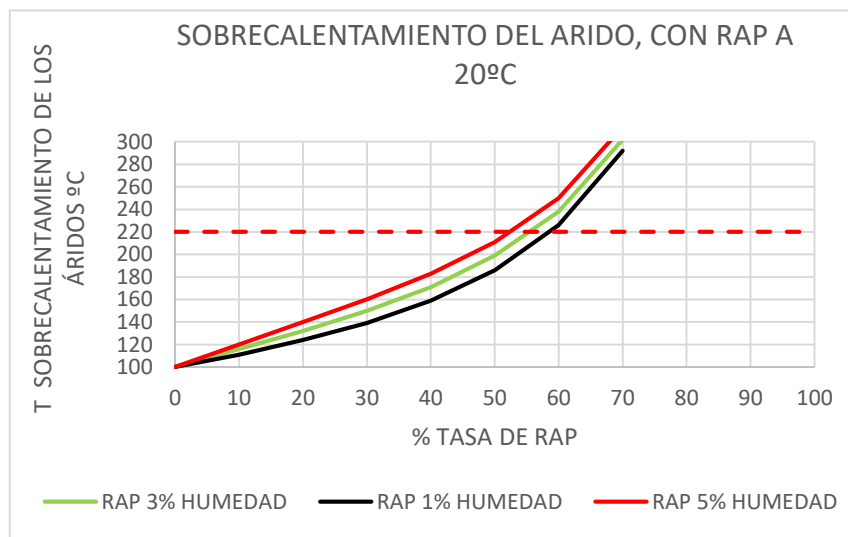


Figura 5. Temperatura de sobrecalentamiento del árido de aportación en función del % RAP tratado. Efecto de la humedad en la tasa de RAP



En la figura 4 se puede observar que se podrían alcanzar tasas de hasta el 60% en condiciones óptimas del RAP tratado pero esto no es frecuente. Lo más habitual, es poder alcanzar tasas de RAP en torno a 40-50%. No obstante, mediante esta técnica de reciclado templado con emulsión se permite reutilizar mayores tasas de RAP que con la técnica de reciclado en caliente, donde la tasa de RAP se limita entorno al 25% debido a que la temperatura final de la mezcla es mayor.

## 5 Referencias

- [1] ATEB (2014) *Monografía de mezclas templadas con Emulsión Bituminosa*.
- [2] ATC (2018). *Recomendaciones para la redacción de Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares de Firmes y Pavimentos Bituminosos de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico*.
- [3] Ministerio de Fomento (2017) *PG4 reciclados de firmes y pavimentos bituminosos* Orden circular número 40.