

PRODUCCIÓN DE MEZCLAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN BITUMINOSA

RECOMENDACIONES PARA LA FABRICACIÓN DE
MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN (MBTE)



1ª Edición abril de 2020

Diseño y realización: Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas

Reservados todos los derechos

La Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas no autoriza la reproducción parcial ni total de este documento, sin el permiso previo y por escrito de la misma.

AUTORES

Marisol Barral Vázquez. Coordinadora del GT-3 ATEB Mezclas templadas. (Campezo)

Adrián Cabrera Narváez. (Sacyr)

Antonio Garcia Siller. (Cepsa)

Francisco Antonio Álvarez Gumiel. (Fabremasa)

Francisco Guisado Mateo. (Repsol)

Esther Tomas Fortun. (Ciesm-Intevia)

COMITÉ TÉCNICO

María del Mar Colas. Directora del Comité Técnico (ATEB). (Cepsa Comercial Petróleo)

Lucía Miranda. Secretaria del Comité Técnico (ATEB) y coordinadora del GT-1 (Normativa). (Repsol)

Daniel Andaluz. Director-Gerente (ATEB) y coordinador del GT-2 (TRACC)

Marisol Barral. Coordinadora del GT-3 (Mezclas Templadas) (Campezo)

Santiago Gil. Coordinador del GT-4 (Seguridad, salud y medioambiente) (Ravago Chemicals)

Nuria Querol. Coordinadora del GT-5 y GT-8 (Documentación y Reciclado en frío) (Sorigué)

Nuria Uguet. Coordinadora del GT-6 (Nuevos campos de aplicación) (Eurovia Management España)

Alfonso Pérez. Coordinador del GT-7 (Lechadas bituminosas y Microaglomerados en frío) (Eurovia Management España)

AGRADECIMIENTOS

El grupo de trabajo agradece enormemente a **Jacinto Luis García Santiago** por su colaboración en la redacción y aportación de diferentes fotografías. Así mismo, este agradecimiento es extensivo a **Mariano Cebrián y Rafael Cegarra** por su colaboración inicial en la elaboración de la actual monografía.

OBJETIVO DEL DOCUMENTO

1. DEFINICIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN

2. CONSIDERACIONES GENERALES ANTES DE LA FABRICACIÓN

2.1 MATERIALES

- 2.1.1 Áridos
- 2.1.2 RAP
- 2.1.3 Emulsión bituminosa

3. EQUIPAMIENTO PARA FABRICAR MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN BITUMINOSA

3.1 FABRICACION DE MEZCLAS TEMPLADAS, REQUISITOS Y TIPOLOGIAS BASICAS

- 3.1.1 Centrales de fabricación específicas
- 3.1.2 Centrales de fabricación de fabricación convencionales y sus adaptaciones

3.2 CIRCUITO DE LA EMULSIÓN BITUMINOSA

3.3 SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE MATERIALES (ARIDOS Y RAP)

- 3.3.1 Calentamiento mediante transferencia de calor
- 3.3.2 Calentamiento directo de los materiales (áridos y RAP)
- 3.3.3 Calentamiento mixto

3.4 MEZCLADO DE LOS MATERIALES YA CALENTADOS Y LA EMULSIÓN

4. RANGOS DE RAP RECOMENDABLES SEGÚN SU SISTEMA DE CALENTAMIENTO

4.1 CALENTAMIENTO POR TRANSFERENCIA DE CALOR

4.2 CALENTAMIENTO DIRECTO Y MIXTO

5. NORMATIVA

6. APLICACIÓN

6.1 EXPERIENCIAS

7. CONCLUSIONES

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OBJETIVO DEL DOCUMENTO

El objetivo de este documento no es otro más que 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 material de fresado procedente de firmes y pavimentos de mezclas bituminosas envejecidas, comúnmente denominado **RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)**, en base a la experiencia Española y de otros Países.

Va dirigida a cualquier persona interesada en profundizar en el conocimiento de esta técnica y que le pueda ser útil como punto de partida para aumentar su interés en la misma.

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 los centros de 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 a su puesta en obra, que ya han sido tratadas en la **Monografía de Mezclas Templadas con emulsión** de **ATEB**.

1. DEFINICIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN

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 Reciclados Templados con Emulsión, en adelante RTE.

Se define como **RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)**, al material procedente de la disgregación de capas de mezclas bituminosas envejecidas (rodadura, intermedia o base), obtenido mediante fresado o demolición, y eventual trituración y posterior tratamiento para adecuar su granulometría y fraccionamiento para ser utilizable en reciclados.

Según se indica en la O.C. 40/2017 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 (como RAP de firmes antiguos con capas ligadas con alquitrán de hulla), asbesto-amianto, ni ningún otro que esté clasificado como peligroso, o que no cumpla la legislación ambiental y de seguridad y salud vigente.

2. CONSIDERACIONES GENERALES ANTES DE LA FABRICACION

Como en cualquier técnica, existe una serie de aspectos generales que hay que considerar antes de cualquier producción. A continuación, se describen brevemente.

2.1 MATERIALES

En cuanto a los materiales a emplear, no se han de tener en cuenta consideraciones especiales salvo los requerimientos necesarios y establecidos en las normativas correspondientes (Marcado CE, etc), en función del tipo de mezcla que se trate y su colocación en la capa del firme.

2.1.1 ÁRIDOS

Para garantizar la obtención de una **MBTE** con la calidad exigida, se tienen que acopiar los áridos en el centro de fabricación de forma correcta, y siempre bajo lo especificado en la **Orden Ministerial de Fomento 2523/2014** tal y como si se tratara de otra mezcla bituminosa.

Así, se debe cumplir:

Acopiar por separado las diferentes fracciones de los áridos necesarios, evitando contaminaciones entre ellos.

Evitar las segregaciones por tamaños en un mismo acopio de fracción de áridos.

Evitar contaminaciones con otros materiales.

Realizar un control de calidad de los áridos recibidos en el centro de producción.

2.1.2 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.

El RAP debe gestionarse analizando los dos materiales que lo componen por separado, el árido y el betún.

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.

2.1.2.1 OBTENCIÓN DEL RAP

El RAP se obtiene de pavimentos o firmes bituminosos envejecidos mediante la aplicación de dos técnicas principalmente: **Demolición mecánica o Fresado**.

El material obtenido con cada una tiene características diferentes que hacen que precisen un post tratamiento diferente en cada caso, para su aprovechamiento posterior en procesos de reciclado en el centro de producción.

Demolición mecánica

Efectuada mediante levantamiento con pala o retroexcavadora (puede ser ripado previamente), 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 que habrá que tener en cuenta para acopiarlo adecuadamente y para su posterior reutilización.



Figura 1: Demolición mecánica de un firme bituminoso. (Fuente: Sacyr)

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.

Esta técnica tiene la gran ventaja que te permite clasificar los RAP según las distintas calidades de los materiales de las capas de los firmes, permitiendo optimizar su uso; así el RAP de capas de rodadura y/o intermedia permitirá su reutilización en capas similares, cosa que no ocurriría si están

mezclados con RAP de capas inferiores, de inferiores características, generalmente, en sus áridos. Mediante este proceso y tras un 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.



Figura 2: Fresado por capas.

b) Fresado profundo



Figura 3: Fresado en profundidad.

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, conlleva un postratamiento mínimo que puede consistir en una simple clasificación del RAP, con reducción o rechazo de tamaños superiores.

2.1.2.2 TRATAMIENTO DEL RAP

Trituración y/o clasificación del RAP

Para la fabricación de mezclas bituminosas en las que se incorpora RAP con tasas mayores del 20%, es necesario 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, lo que 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 el centro de producción.

Otra solución es reducir el tamaño máximo del RAP a fracciones intermedias, recirculando las fracciones mayores en el proceso de trituración. Esto conlleva mayor coste de machaqueo pero facilita el control de fabricación de la mezcla. En tal caso se tendría:

RAP fino: 0/6 o 0/8 mm

RAP grueso: 6/12 o 8/12 mm



Figura 4: Tratamiento de cribado del RAP en dos fracciones. (Fuente: Asfaltia)

Los equipos idóneos para la trituración de RAP dependen de su proceso de obtención previo (fresado o demolición).

A) 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.



Figura 5: Granuladores de RAP (Fuente: Sacyr)

B) 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 (martillo).

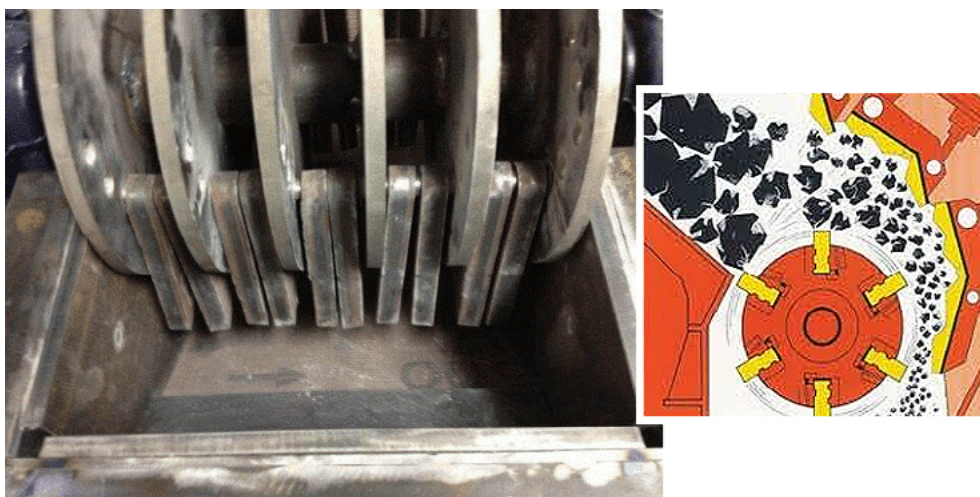


Figura 6: Molino de impacto para reducir los tamaños del RAP.

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.

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 en la nueva mezcla reciclada, 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 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 y también aglomeraciones debido al reblandecimiento del ligante del RAP por la insolación. Esta costra o aglomeraciones deben ser retiradas, 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 mucho 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, especialmente las fracciones finas.



Es aconsejable, no tener a la intemperie acopios de fracciones de RAP, en especial las finas, por su sensibilidad a adquirir humedad y aglomerarse por insolación. Por ello, existen sistemas de tratamiento del RAP en línea con la fabricación de la mezcla reciclada que reducen estos problemas.

Figura 7: Tratamiento del RAP en línea. (Fuente: Sacyr)

En definitiva, el RAP que se incorpore al proceso de producción debe ser homogéneo, no debe contener ningún tipo de elemento contaminante, y deberá estar 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.

2.1.2.3 CARACTERIZACIÓN DEL RAP TRATADO

Para la utilización de cualquier acopio de RAP tratado, es necesario realizar, previamente, 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 utilizable según el tipo de mezcla nueva a fabricar.

Las características a determinar son las siguientes: homogeneidad, humedad, sustancias contaminantes, características y contenido de ligante envejecido y características de los áridos recuperados.

Homogeneidad

Para determinar la homogeneidad del RAP acopiado se debe analizar la granulometría de los áridos tras la extracción del ligante, y el contenido de éste. 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 que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1: Tabla de tolerancias para determinar la homogeneidad del RAP.

(Ref.: Tabla 9 del artículo de Reciclado Templado del libro de Recomendaciones para la redacción de Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares de Firmes y Pavimentos Bituminosos de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico desarrollado por la ATC).

CARACTERÍSTICA	MEDIA DE 4 RESULTADOS	VALORES INDIVIDUALES
Tamices >2 mm	±4%	±7%
Tamiz 2 mm	±3%	±6%
Tamiz 0.063 mm	±1%	±2%
Ligante residual	±0,3%	±0,5%

*(Ref.: Tabla 22.2 del Artículo 22 de la O.C. 40/2017 (PG-4)
Reciclados en caliente y semicaliente en central para tráfico T2 a T4).*

CARACTERÍSTICA		NORMA	UNIDAD	TOLERANCIA
GRANULOMETRÍA CERNIDO TAMICES (mm)	>2	UNE-EN 933-2	% sobre masa total material en seco	±4
	>0,063 Y ≤2			±2
	0,063			±1
CONTENIDO DE LIGANTE		UNE-EN 12697-1		±0,3
PENETRACIÓN DE LIGANTE RECUPERADO		UNE-EN 1426	(1/10)mm	±4

Limitación del tamaño máximo del RAP

Aunque el tamaño del árido de la capa fresada sea reducido, es necesario limitar la dimensión máxima de los gránulos de fresado que componen el RAP. El tamaño máximo del RAP deberá ser el adecuado a la mezcla asfáltica a fabricar que, en ningún caso, tal como recoge la Monografía de ATEB y otros documentos, no debe ser superior a 32 mm, siendo lo recomendable 22 mm o menos. Se entiende que es previamente a su clasificación o separación en varios tamaños, como se indicaba anteriormente.

Humedad

La humedad en el RAP afecta de modo importante a la fabricación de RTE, lo que puede limitar de modo acusado la tasa de reciclado y/o la operativa de fabricación en cuanto a temperaturas, pegajosidad, manejabilidad, operación del filtro de mangas, secado de materiales, etc. La caída de producción puede ser muy acusada con RAP húmedo en el caso de calentar el RAP mediante transferencia de calor desde los áridos sobrecalentados, como luego se verá.

El RAP tiene una gran facilidad para aglomerarse, principalmente las fracciones más finas por efecto del calor e insolación, formando “costrones” en el contorno del acopio y en el interior de los mismos debidos a su propio peso.

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).

Una práctica aconsejable es remover los acopios para homogenizar el grado de humedad para un mayor control de la fabricación. Otra medida muy adecuada es la del drenaje de la superficie del fondo de los acopios, que debe tener pendiente hacia el lado opuesto de la carga con la pala de alimentación.



Figura 8: Acopios de RAP: (izq.) bajo cubierta, (dcha.) Protegidos con plásticos. (Fuente: ATEB)

Sustancias contaminantes

Atendiendo a lo que se establece en la O.C. 40/2017 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.

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, y para poder definir las características del ligante base de la emulsión, es necesaria una caracterización específica del ligante envejecido mediante ensayos de penetración y punto de reblandecimiento, como mínimo.

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, siendo de ayuda disponer de las características de los áridos empleados en su día en la fabricación de las mezclas de las que procede el RAP.

2.1.3 EMULSIÓN BITUMINOSA

Las emulsiones bituminosas son sistemas termodinámicamente inestables, son dispersiones de pequeñas partículas de betún asfáltico (micelas), con tamaño de algunas micras, en un medio acuoso. La elección de la emulsión lleva intrínseco la elección de un ligante base que debe adecuarse a la naturaleza de los áridos de aporte nuevo y/o a la presencia de RAP en una determinada tasa, climatología, tipo de capa y mezcla, por lo que es necesario la elección correcta de aditivos mejoradores de propiedades y emulgentes específicos, que permitan la estabilidad y transporte del producto, envuelta, trabajabilidad, aplicación y obtención de propiedades mecánicas.

La presencia de un material envejecido lleva a pensar en la necesidad de ligantes blandos o rejuvenecedores para recuperar bien las propiedades perdidas del material, pero hay que considerar que a las temperaturas que gobiernan el sistema, sobre los 90 °C, si el ligante viejo está por encima de su punto de reblandecimiento y si hay suficiente superficie de contacto y energía de mezclado, es previsible que haya una difusión efectiva del nuevo ligante en el viejo durante el proceso de fabricación. No obstante, posteriormente, puede seguir habiendo una difusión diferida, especialmente si el desmenuzamiento del RAP no fue completo.

Por lo tanto hay que tener en cuenta que la difusión del ligante viejo en el nuevo, depende de:

la superficie específica de contacto entre ambos ligantes

de la tecnología de fabricación del RTE empleado

del grado de desmenuzamiento conseguido en el RAP a temperaturas por encima de su punto de reblandecimiento

si hay o no presencia de árido negro (Black Rock^[Nota1]). En este caso el ligante nuevo rodeará a esa piedra negra (procedente del RAP) y la difusión será muy limitada, incluso en el tiempo.



Nota 1: Se conoce como Black Rock a las partículas de RAP formadas por trozos de mezcla no disgregada, es decir, contiene varias fracciones de áridos y mortero y su interacción con el ligante nuevo se produciría (si es que se produce) solamente en el contorno pudiendo permanecer el resto de ligante viejo (el de su interior) como un inerte.

Figura 9: Black Rock

Por otro lado, quien realmente manda en el momento de la mezcla y su posterior manejo, es la temperatura (especialmente la del ligante del RAP en cuanto a que permita su reblandecimiento y facilite su mezclado con el de la emulsión), a diferencia de lo que ocurre en las mezclas en frío, indistintamente de la presencia de mayor o menor cantidad de finos.

El medio acuoso de la emulsión ayuda a una espumación que permite las envueltas a las temperaturas de fabricación de alrededor de 100 °C, por lo que la concentración de la emulsión es importante para mantener las temperaturas de fabricación y que no caigan a niveles no deseados. Además, la presencia de la poca agua que queda en el sistema ayuda en el momento de la compactación, por lo que el grado de concentración de la emulsión se debe ajustar en función de las indicaciones mostradas. Las especificaciones de las emulsiones catiónicas, para su empleo en construcción y mantenimiento de carreteras, pavimentos de aeropuertos y otras áreas pavimentadas, están reguladas por la norma armonizada UNE-EN 13808, pudiéndose ajustar la consistencia y concentración del ligante base y/o de aditivos mejoradores de propiedades si fuera necesario en función del tipo de mezcla y tasa de reciclado. Respecto al empleo de emulsiones aniónicas no hay experiencias con mezclas templadas.

Estas emulsiones deben mantener sus propiedades a las temperaturas de almacenamiento y fabricación, estableciéndose las recomendaciones adecuadas por el fabricante de la misma, quien debe indicar los aspectos a tener en cuenta respecto a:

temperaturas de fabricación, almacenamiento y trasiegos,

y consideraciones durante el almacenamiento diario y/o prolongado.

3. EQUIPAMIENTO PARA FABRICAR MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN BITUMINOSA.

Mientras que en la etapa de puesta en obra las MBTE no requieren de particularidades para ello, en la etapa de fabricación es necesario realizar algunas consideraciones. En este apartado se exponen las peculiaridades generales de este tipo de mezclas.

3.1 FABRICACION DE MEZCLAS TEMPLADAS, REQUISITOS Y TIPOLOGIAS BASICAS.

Además de sistemas comunes con las centrales convencionales de fabricación en caliente como son los de alimentación en frío de áridos o RAP con control en continuo del caudal, volumétrico o másico, o los sistemas de depuración de polvo y los de almacenamiento o descarga de la mezcla fabricada, las centrales de fabricación para producir mezclas templadas con emulsión presentan, a modo de resumen general dos diferencias básicas:

a) Un circuito específico de alimentación de la emulsión, incluyendo depósitos independientes y calorifugados para ella, como se indica en el apartado 3.2

b) Un proceso de calentamiento de los áridos y, en su caso, del RAP que asegure que la mezcla alcance la temperatura deseada (sin sobrepasar los 100 °C) con un correcto funcionamiento del quemador y del sistema de depuración del polvo, a pesar de unas temperaturas finales inferiores a las de las mezclas convencionales. La fabricación de MBTE se puede realizar bien en centros de fabricación específicamente diseñadas para ello o bien en los mismos centros de producción que las mezclas bituminosas en caliente realizando algunas modificaciones y/o ampliaciones en relación con la aportación de emulsión y, en su caso, con el proceso de obtención de la temperatura final de la mezcla.

3.1.1 CENTRALES DE FABRICACIÓN ESPECÍFICAS.

Son equipos en cuyo diseño se contemplan ya las peculiaridades antes citadas, respecto a la aportación del ligante y temperatura de la mezcla. Pueden ser equipos multifuncionales capaces también de fabricar otras mezclas, como mezclas en frío con emulsión o bien solo templadas. En ambos casos, con áridos vírgenes o con RAP, pudiendo llegar hasta reciclados a tasa total. A continuación, se presenta un ejemplo de un centro de fabricación específicamente diseñadas para fabricar MBTE.

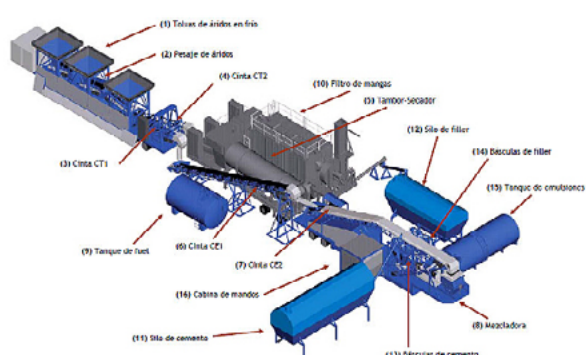


Figura 10: Central de mezcla continua diseñada específicamente para la fabricación de MBTE. (Fuente: Fabremasa)

3.1.2 CENTRALES DE FABRICACIÓN CONVENCIONALES Y SUS ADAPTACIONES

Las centrales de fabricación de mezclas en caliente precisarán incorporar el circuito de alimentación de emulsión, como se indica en el apartado 3.2.

El proceso de calentamiento de los áridos y/o RAP es el que puede presentar la mayor dificultad o, por el contrario, no presentar ninguna, según que la central sea una de fabricación de mezclas convencionales en caliente o bien, tenga la capacidad de producir mezclas recicladas en caliente, según se indica a continuación:

a) Centrales de fabricación de reciclado. Son las más adecuadas ya que en ellas pueden obtenerse fácilmente la temperatura necesaria para las mezclas templadas sin modificaciones, lo que se consigue incorporando por la línea de RAP parte de los materiales a temperatura ambiente, bien árida virgen (generalmente arena) o bien RAP, mientras que el resto de áridos se calienta por el proceso normal y con un cierto sobrecalentamiento regulado en función de su proporción, humedad

del RAP o arena, etc. Con la mezcla final de ambas líneas se consigue la temperatura deseada. Además, permiten respecto a las mezclas en caliente, un sustancial aumento de la tasa posible de reciclado.

b) Centrales de fabricación convencionales. Están optimizadas para un caudal determinado de áridos en un rango de temperaturas de trabajo elevado, en sus sistemas de calentamiento de áridos y recuperación del polvo. Su empleo en mezclas templadas, calentando áridos a temperaturas inferiores a los 100 °C, puede generar problemas, como desajustes en el quemador, contaminación de los áridos por mala calidad en la combustión, mal funcionamiento del sistema de filtro de mangas por insuficiente temperatura de salida de gases, insuficiente o nula extracción de polvo por secado insuficiente, etc.

Se presentan dos posibilidades: por un lado, ajustar la potencia y regulación del quemador para que la temperatura de áridos no sobrepase la temperatura límite de las mezclas templadas, aspecto que puede llegar a producir deficiencias en la combustión y, sobre todo, una insuficiente temperatura de humos a la salida del secadero que puede dar lugar a condensaciones y corrosiones indeseadas en el filtro de mangas; para atenuar este último problema se adoptan prácticas como precalentamiento de los filtros de mangas, poscalentamiento de gases a la entrada del filtro y protecciones anticorrosivas. La otra opción, aplicable de un modo relativamente sencillo en las muy difundidas centrales de mezcla discontinua, consiste en actualizar la central de fabricación para dotarla de capacidad de reciclado (haciendo posible el proceso descrito en el punto anterior), instalando un nuevo sistema para alimentar y dosificar directamente al mezclador una o dos fracciones de RAP (o áridos, en caso de mezcla no reciclada), junto con un dispositivo de extracción del vapor generado en el mezclador. Estas opciones así resumidas se desarrollarán con más detalle en otros apartados, más adelante.

3.2 CIRCUITO DE LA EMULSIÓN BITUMINOSA

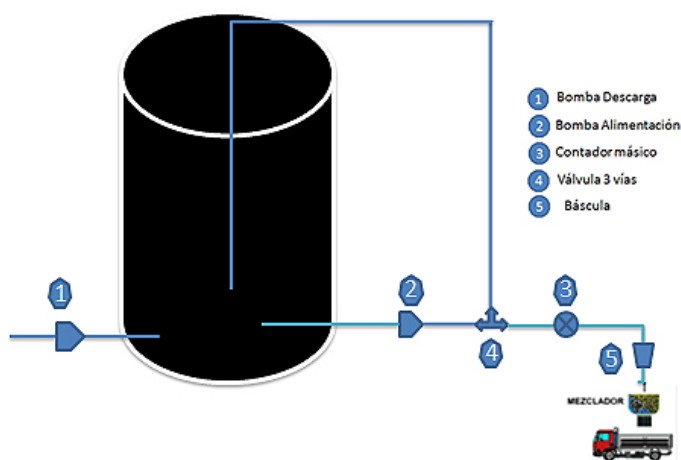
La temperatura del circuito y el sistema de dosificación de la emulsión bituminosa deben de garantizar el empleo de las emulsiones en las condiciones adecuadas y establecidas.

Por ello, las centrales para la fabricación de mezclas bituminosas templadas con emulsión o los centros de producción de mezclas bituminosas en caliente, han de disponer de un circuito independiente para la emulsión que va desde los tanques, pasando por el caudalímetro y/o báscula que permite la dosificación, hasta el mezclador. En el caso de los centros de fabricación de mezclas en caliente, este circuito, ha de ser independiente del de betún.

No se recomienda utilizar el mismo circuito que el del betún de los centros de fabricación de mezclas en caliente puesto que se contaminaría el circuito y se podría generar un problema de seguridad, además de una incompatibilidad de temperaturas en el caso de que esté calorifugado.

El equipo idóneo para el almacenamiento y dosificación de la emulsión en una central de fabricación (discontinua o continua) para la fabricación de mezclas templadas con emulsión, ya sean centros de fabricación específicos de fabricación de MBTE o de fabricación de mezclas en caliente, es el siguiente:

Este equipo consta de:



1. Un tanque almacén, preferiblemente vertical, pudiéndose emplear cisternas nodrizas, con sistema de calentamiento (eléctrico o con aceite térmico) y control automático de temperatura y calorifugado.

2. Una bomba para descarga de camiones al tanque almacén, con calentamiento para facilitar los arranques.

Figura 11: Esquema para el almacenamiento y dosificación de la emulsión. (Fuente: Repsol)

3. El equipo dosificador, formado por una bomba de alimentación, también con calentamiento.

4. Un contador másico, o báscula pesaje antes del mezclador, en función de si es central continua o discontinua.

5. Una válvula de tres vías que permite recircular las emulsiones sobre el tanque almacén, para su homogeneización.

En caso de una central de mezcla 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 centrales de mezcla discontinua se recomienda una báscula adecuada para pesar este tipo de ligante.

En el mezclador, se requiere disponer una rampa de inyección con difusores, recomendándose ser 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. Por esta razón el circuito de emulsión debe ser independiente del circuito del betún, porque las temperaturas de calorifugación en este son incompatibles con las de la emulsión. Si se usase el mismo, el tiempo de enfriamiento para pasar de usar betún a emulsión no lo harían adecuado y supondrían paralizaciones en la producción.

3.3 SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE MATERIALES (ARIDOS Y RAP)

El sistema de calentamiento de los áridos y/o RAP se pueden clasificar en tres sistemas:

1. Calentamiento mediante transferencia de calor de una fracción al resto, que se ha incorporado sin calentamiento previo.

2. Calentamiento directo del total de los materiales.

3. Mixto, combinando los dos anteriores.

El proceso de calentamiento del RAP ha de respetar algunos requisitos específicos, relativos a preservar la calidad de su ligante y a conseguir la mezcla de éste con el nuevo ligante aportado con la emulsión.

En cuanto a los áridos se persigue, al igual que en las mezclas convencionales, eliminar el filler sobrante adherido a los mismos para lograr buena adhesividad y una correcta formulación.

3.3.1 CALENTAMIENTO MEDIANTE TRANSFERENCIA DE CALOR

Es el sistema más sencillo y operativo, con el que se consigue un funcionamiento estándar en el secadero y sistema de eliminación de polvo, en el que se mantienen temperaturas de salida de gases adecuadas, que no inducen condensaciones.

Consiste en pasar una parte del flujo de áridos por el circuito normal de calentamiento, es decir, por el tambor secador, secándola y calentándola a una temperatura prefijada por encima de la final de la mezcla, mientras que el resto de los componentes (áridos, o RAP en caso de mezclas recicladas) se dosifica a temperatura ambiente al mezclador (o báscula), donde se calientan absorbiendo calor de la fracción sobrecalentada que se pasó por el secadero.

El sobrecalentamiento a dar a los áridos se estima con la metodología indicada más adelante, en el apartado 4.1, en función de la proporción, humedad y temperatura de los materiales (áridos o RAP) aportados en frío.

3.3.1.1. CENTRALES DE MEZCLA DISCONTINUA

En el caso de una central de mezcla discontinua, se alimenta y dosifica una parte de las fracciones de áridos (normalmente arena) o de RAP, con la humedad y temperatura que tengan en el acopio directamente al mezclador, donde se unen y mezclan con la fracción de áridos que ha pasado por el tambor secador, sobrecalentados a una temperatura tal que la mezcla final este entorno a los 100 °C. Como ya se ha indicado, este sistema precisa un dispositivo de extracción del vapor que se genera en el mezclador con la rápida disipación de la humedad del material aportado en frío.

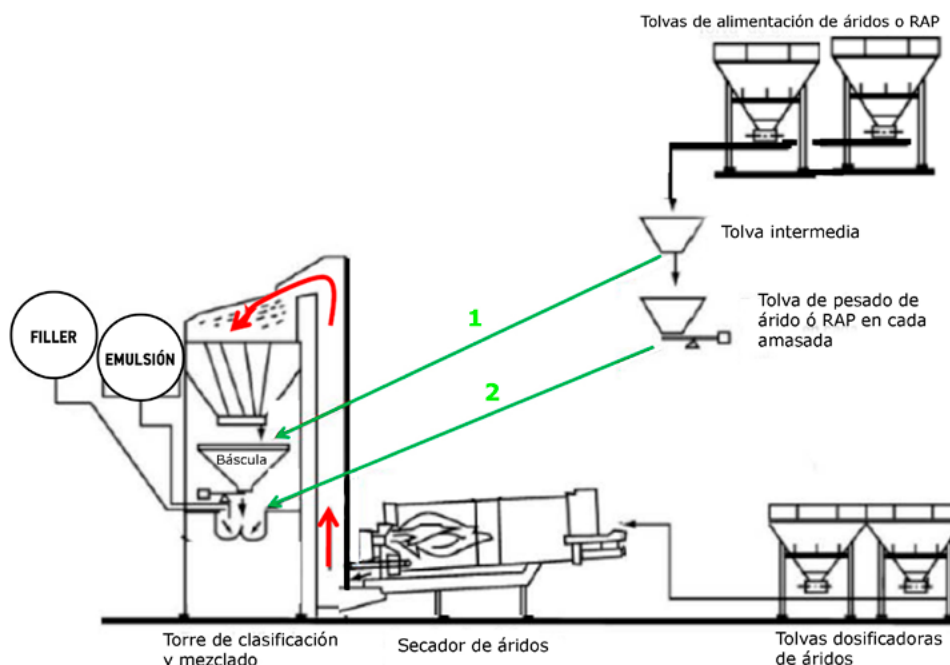


Figura 12: Esquema de la fabricación de MBTE (recicladas o sólo con áridos) mediante transferencia de calor en una central de mezcla discontinua típica de reciclado. [Opción 1, RAP o áridos directos a la báscula de la central. Opción 2, RAP o áridos directos al mezclador previo pesado en una báscula independiente]

Este tipo de centro de producción es el más difundido ya que, el dotar a una central de mezcla discontinua convencional con un módulo de alimentación-dosificación del RAP o áridos al mezclador, es la solución más sencilla y eficiente para actualizar una central de mezcla discontinua convencional con la capacidad de fabricar mezclas recicladas en tasas medias (hasta 25% en reciclado en caliente) o altas (hasta 50% en templadas).



Figura 13: Central de mezcla discontinua con sistema de dosificación del RAP, directo al mezclador. (Fuente: Intrame)

En el caso de las centrales de mezcla discontinua existe, también, otra alternativa que simplifica más el sistema de calentamiento.

Se trata de incorporar materiales sin calentar ni secar (áridos o RAP) en la base del elevador de los áridos en caliente, tras su salida por el quemador, de tal forma, que esos materiales adquieren temperatura por transferencia del calor de los áridos calientes y secos que pasaron por el tambor secador de modo habitual, con una temperatura de salida de humos adecuada para un trabajo eficiente del filtro de mangas y mezclarlos con áridos o RAP fríos para bajar la temperatura entorno a unos 100 °C deseados en la mezcla final.

Si bien esta alternativa con RAP tiene una limitación importante en la tasa de reciclado por colmatación de cribas, en mezclas templadas sin RAP, no está condicionada la aportación de áridos fríos para regular la temperatura final. Por lo que, también es una solución relativamente sencilla y eficiente en mezclas templadas sin RAP.

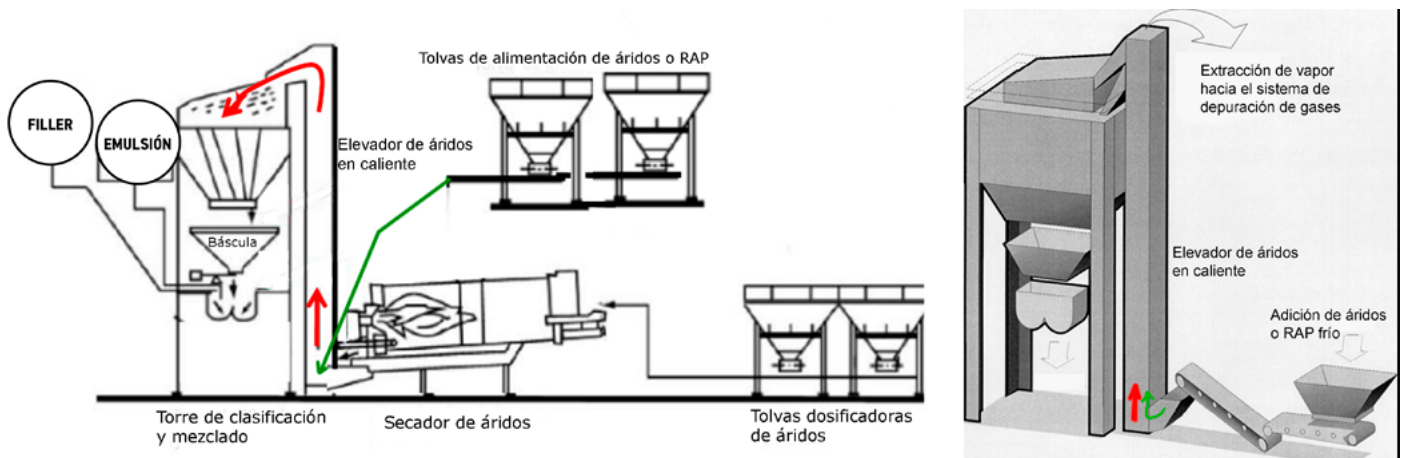


Figura 14: Esquema aportación de áridos/RAP frío en la base del elevador en caliente y dispositivo de extracción de vapores.

En mezclas sin RAP, en las que lo que se aporta es árido, no existe más limitación que la debida a conseguir su calentamiento y secado antes de pasar por las cribas, siendo una solución relativamente sencilla y eficiente para estas mezclas templadas.

También este sistema precisa un dispositivo de extracción hacia el sistema de depuración de gases del vapor que se genera en el elevador en caliente por la rápida disipación de la humedad del material aportado en frío.

3.3.1.2. CENTRALES DE MEZCLA CONTINUA

En el caso de una central de mezcla continua, con tambor secador de contraflujo, la incorporación de los áridos o RAP fríos se realiza a través de un anillo concéntrico localizado en la parte final del tambor, tras la llama del quemador.

Se calientan por transferencia de calor desde los áridos sobrecalentados en el secador, transferencia que se produce en la parte final de su recorrido en el tambor y en el mezclador, alcanzando la temperatura final deseada en torno a los 100 °C.

Existen diversas soluciones como se indica en los esquemas de las figuras 15 a 17, bien con tambor-secador-mezclador o con mezclador independiente.

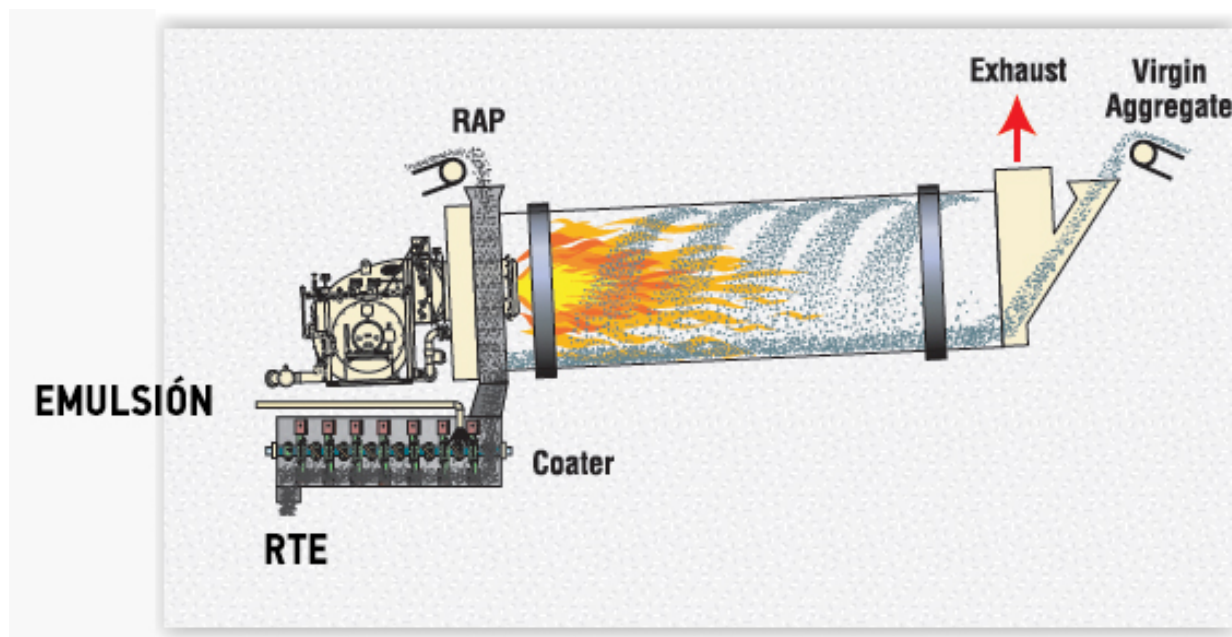


Figura 15: Tambor-secador con mezclador separado de una central de mezcla continua con calentamiento del RAP mediante transferencia de calor desde los áridos. (Fuente: Astec)

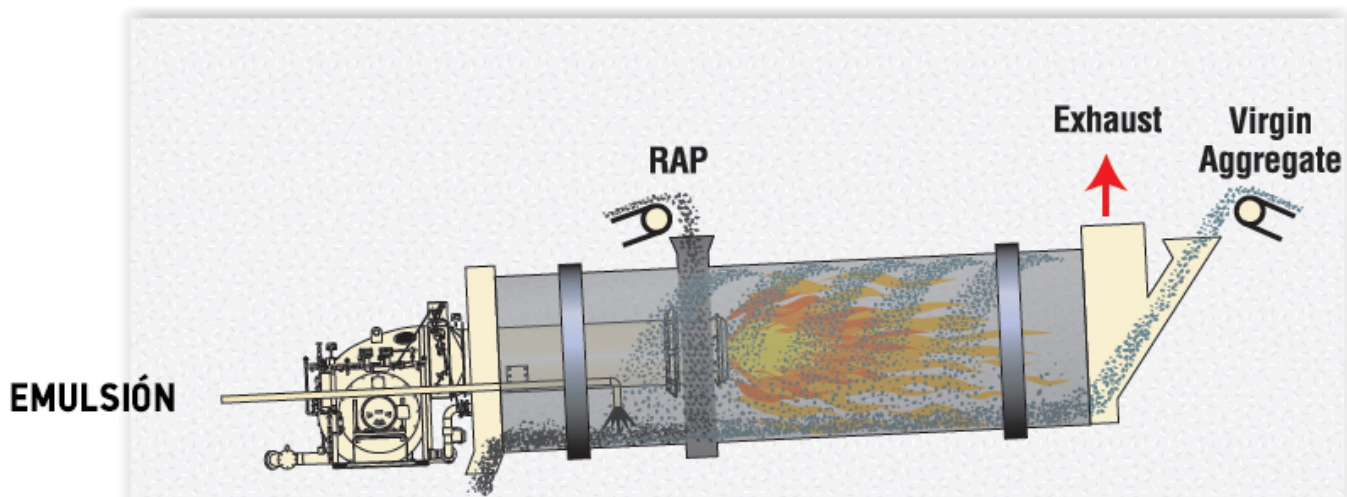


Figura 16: Tambor secador mezclador de contraflujo de una central de mezcla continua, los gases calientes no afectan al RAP evitando exponerse directamente a la llama. (Fuente: Astec)



Figura 17: Central de mezcla continua de contraflujo, con anillo de incorporación de RAP y mezclador independiente
(Fuente: Intrame)

3.3.1.3. MEZCLAS RECICLADAS: ESPECIFICIDADES EN EL CALENTAMIENTO Y MEZCLA DEL RAP CON TRANSFERENCIA DE CALOR

Existen dos requisitos fundamentales:

Limitación a 220 °C en el sobrecalentamiento de los áridos vírgenes.

Calentamiento del RAP por encima del punto de reblandecimiento de su ligante y desmenuzado adecuado del mismo, antes de añadir la emulsión.

La temperatura en los áridos donantes de calor no debe sobrepasar en ningún caso los 220 °C, para evitar un excesivo choque térmico y así evitar el riesgo de afección a la calidad del ligante envejecido del RAP. En el **apartado 4.1** se indicará como estimar el sobrecalentamiento necesario en función de la tasa de reciclado, humedad y temperatura del RAP.

Esta limitación de sobrecalentamiento en los áridos condiciona la tasa máxima de RAP a emplear, ya que depende, además del tipo de mezcla final deseada y de la homogeneidad y características granulométricas de las fracciones del RAP, de la humedad del RAP aportado en frío y su temperatura. Así, con este sistema las tasas máximas, con RAP tratado en las mejores condiciones de humedad, granulometría, etc. se sitúan entorno al 60%, siendo habitual un empleo del 50% del RAP.

Pero, por otra parte, antes de añadir la emulsión a la mezcla de áridos y RAP, hay que conseguir que el calentamiento del RAP supere la temperatura del punto de reblandecimiento de su ligante, de modo que se asegure su desmenuzamiento en caliente en el mezclador, para evitar la presencia de **“áridos negros”** y facilitar la mezcla de los ligantes presentes, el viejo del RAP y el betún de la emulsión. Ello implica un cierto tiempo de mezcla en seco para permitir que el RAP absorba calor de los áridos y que la temperatura de la mezcla se sitúe en el entorno de los 100 °C, previo a la mezcla con la emulsión.

Es importante establecer unos tiempos de mezclado en contacto con los áridos sobrecalentados para conseguir los siguientes objetivos:

a) Por un lado, que el RAP alcance la temperatura necesaria para su calentamiento y eliminación de humedad. Ello implica tiempos de amasado en seco incrementados con respecto a las mezclas en caliente u otros sistemas de calentamiento del RAP. 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.

b) Por otra parte, la energía del mezclador, no sólo se aplica para homogeneizar la mezcla de áridos y RAP, sino para conseguir su disgregación. Es importante este punto, para eliminar la presencia de áridos negros y aumentar la superficie específica de interacción del ligante viejo del RAP con el de la emulsión, 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.

c) 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 de áridos, tiempos de mezclado e, incluso si fuese necesario, volumen de amasada), se determina cuál es la combinación óptima a través de sucesivas amasadas en una simulación del proceso y extracción de **muestras “en gris”** (sin aportación de emulsión) para ver la envuelta producida por el ligante reblandecido del RAP y prefijarla como un parámetro de la producción para su control.

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.

La gran ventaja de este método es que permite una fabricación relativamente sencilla de mezclas templadas, con o sin RAP, con la línea de áridos trabajando en sus rangos normales de temperaturas, o con cierto sobrecalentamiento, lo que facilita que los filtros de mangas actúen de modo adecuado y regulando la temperatura final de la mezcla con la adición de áridos (arena normalmente) o RAP a temperatura ambiente.

En las centrales de mezcla discontinua, en donde la incorporación del RAP frío se hace en la base del elevador de los áridos sobrecalentados (Figura 14), aparece el inconveniente de que al subir la temperatura del RAP, éste se vuelve pegajoso y tiende a adherirse a las mallas, originando un tupido de las mismas.

Por ello, la aportación de RAP se limita a cantidades muy bajas de RAP (máximo del 10%). Una alternativa para superar este límite es usar un bypass, pasando el todo uno a una quinta tolva previa a su dosificación en peso seco al mezclador; este método permitiría una tasa en torno al 50 % de RAP, a costa de basar la dosificación exclusivamente en la alimentación en frío.

En una central de mezcla continua, con secador de contraflujo, el RAP frío se suele incorporar a través de un anillo localizado en la parte final del tambor, antes de la llama y entrada al mezclador, (Figuras 15 y 16) donde por transferencia de calor con los áridos de aportación sobrecalentados, alcanza la temperatura final deseada de entorno a los 100 °C. La homogeneidad y eficacia del calentamiento del RAP, antes de la incorporación de la emulsión, depende del tiempo de recorrido de aquél antes de aplicar el ligante, que suele estar condicionado por el diseño del equipo, disposición del anillo de entrada de RAP y tiene limitaciones de regulación.

En este caso las tasas máximas de RAP que se pueden alcanzar pueden estar en torno al 40-50% si atendemos al aspecto térmico, pero el problema puede estar en que la mezcla de ligantes pueda ser defectuosa, porque no hay mucho juego con el tiempo de calentamiento y desmenuzado en seco del RAP, previo a añadir la emulsión. Hay riesgo de presencia de árido negro (Black Rock).

3.3.2 CALENTAMIENTO DIRECTO DE LOS MATERIALES (ÁRIDOS Y RAP)

Se lleva a cabo por medio de los gases calientes generados en el quemador, bien mediante tambores secadores de contraflujo o de flujo paralelo.

METODO DE CALENTAMIENTO DIRECTO

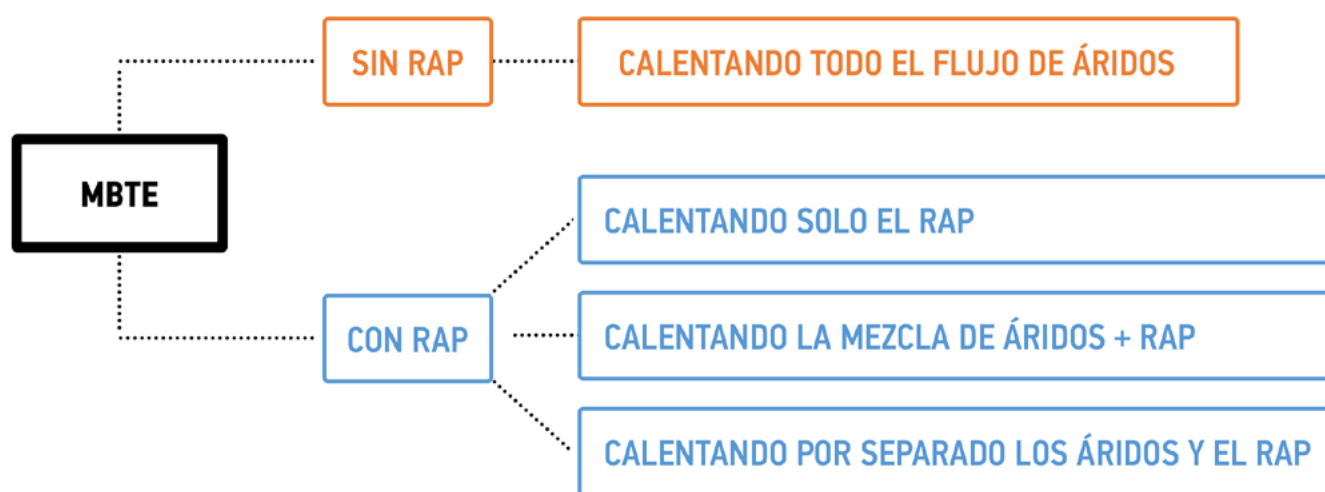


Figura 18: Esquema de las distintas alternativas de calentamiento directo de los materiales.

Existen varias posibilidades:

a) Fabricar MBTE sin RAP, calentando todo el flujo de áridos de modo que se sequen y pueda extraerse el polvo mineral adherido.

b) Fabricar MBTE con RAP, calentando éste directamente con los gases del secador. Se puede calentar la mezcla de áridos y RAP en un tambor secador convencional adaptado o uno específicamente diseñado para este fin, o bien calentar separadamente ambos componentes en una central de doble tambor o fabricar mezclas exclusivamente con RAP. En todo caso, existen varios casos particulares con puntos comunes y diferenciales.

3.3.2.1. CALENTAMIENTO DIRECTO DE LOS ÁRIDOS

El calentamiento de los áridos no presenta más problema que el del ajuste del quemador para mantener la eficiencia de la combustión con un trabajo del tambor secador a una temperatura por debajo del rango normal, con baja temperatura de gases en las de contraflujo.

3.3.2.2. CALENTAMIENTO DIRECTO DEL RAP

En los casos de presencia de RAP se añadiría la salvaguardia de las propiedades de su ligante en el contacto con gases calientes, la posible generación de humos azules por cracking del betún en presencia de vapor de agua y la afección adicional a los filtros de mangas por partículas de RAP fino y ligante en los gases a filtrar.

El RAP tratado o las distintas fracciones del RAP tratado, se calienta a través de un tambor secador a una temperatura en torno a los 100 °C, como es el caso de reciclados a tasa total.

En centrales de mezcla discontinua, el RAP calentado pasaría directamente al mezclador (evitando las cribas en caliente, si es el caso, mediante un bypass).

El RAP sube de temperatura con el empleo de sistemas de calentamiento específicos con aportación directa de calor por medio de gases calientes, evitando tanto el contacto directo con la llama del quemador del tambor secador, como que no discorra por áreas de excesiva temperatura de gases, para preservar las características del ligante del RAP.

Así tendremos:

a) Secaderos de contraflujo, el estándar de áridos, adaptado para calentar los materiales a $T < 105 \pm 5$ °C

Cuando se pase RAP, conjuntamente o no con áridos, la cortina de caída del material no debe traspasar la zona en que la temperatura de gases sea excesiva, por encima de 450-500 °C, mediante una adecuada disposición de las paletas del tambor.

b) Secaderos de flujo paralelo con entrada, o entradas, **de RAP en anillo intermedio**, retrasado respecto a la cámara de gases, en zona de temperatura de gases no agresiva.

Es la solución más común para procesar RAP, aunque su eficiencia térmica no es su punto fuerte, hasta un máximo de temperatura de 120-130 °C, a partir de la cual el ligante del RAP sufre afecciones. Es una solución muy adecuada en mezclas templadas.

En las centrales de fabricación convencionales en caliente, con secador de contraflujo, 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 atmósfera. Al necesitarse calentar el material (áridos o RAP) a temperaturas mucho más bajas que las mezclas en caliente o semicalientes, es decir, temperaturas entorno a los 100 ± 5 °C, puede ocurrir que los secadores habituales de contraflujo no funcionen correctamente. Por ello, son necesarias adecuaciones específicas para que los tambores funcionen eficazmente, de tal forma que los ciclones de las centrales sean capaces de aspirar la cantidad de finos y fíller necesarias y su eficiencia térmica sea la adecuada y así se pueda evitar condensaciones en los filtros de mangas, colmatándolos.

Así, para fabricar RTE con un tambor secador convencional, se debería incorporar a éste un variador de frecuencia, modificar la velocidad del mismo así como la posición de las paletas, para conseguir la cortina de áridos óptima. Los quemadores pueden ser de diferentes tipos ya sean de baja o de alta presión y pueden funcionar con diferentes tipos de combustible, aceite pesado, diésel, gas, etc...

Además, 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.

Dentro del calentamiento de los áridos se debe buscar la máxima eficiencia energética, ya que es una de las partidas importantes dentro de los costes de fabricación.

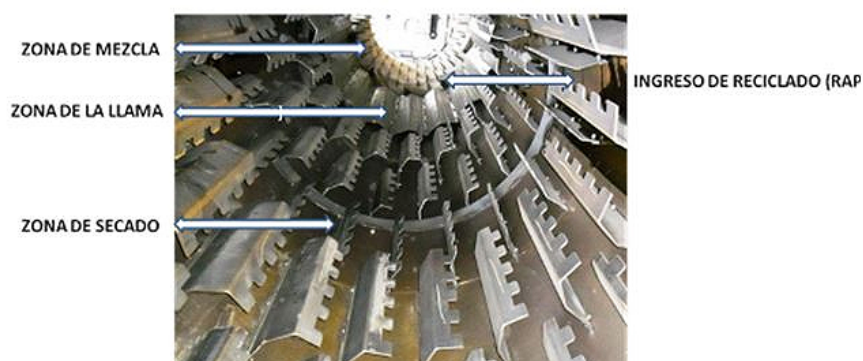


Figura 19: Interior de un tambor secador.

Calentamiento del RAP con un segundo tambor secador independiente del tambor secador de áridos.

Hay centrales de mezcla discontinua de reciclado que utilizan un segundo tambor específico para el secado del RAP con un quemador retrasado. Puede estar colocado a la misma altura o elevado respecto al tambor convencional.

Este sistema es el más adecuada para reciclados templados con emulsión con tasas del 100%. No sería el sistema más adecuado para reciclados templados con emulsión a tasa parcial aunque evidentemente si se dispone de dicha central se pueden fabricar.

En el caso de tasa parcial, por ejemplo 50%, parece lógico calentar el RAP a unos 75 ± 5 °C, en su tambor secador, lo justo para superar su punto de reblandecimiento, mientras que los áridos se secarían en torno a 120°C, para que trabaje adecuadamente el sistema de depuración de polvo.

El caso de tasa total, con 100% de RAP, es el que resulta más atractivo, debe cerrarse totalmente la aspiración en el secador de áridos, para mantener una depresión adecuada en el segundo tambor, el de RAP.



Figura 20: Central de fabricación con doble tambor (Fuente: Sacyr)

Las centrales 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 en caliente deben de tener una geometría adecuada y por lo tanto diferente de la utilizada para áridos para evitar su pegajosidad y bloqueo de los sistemas de incorporación al mezclador.

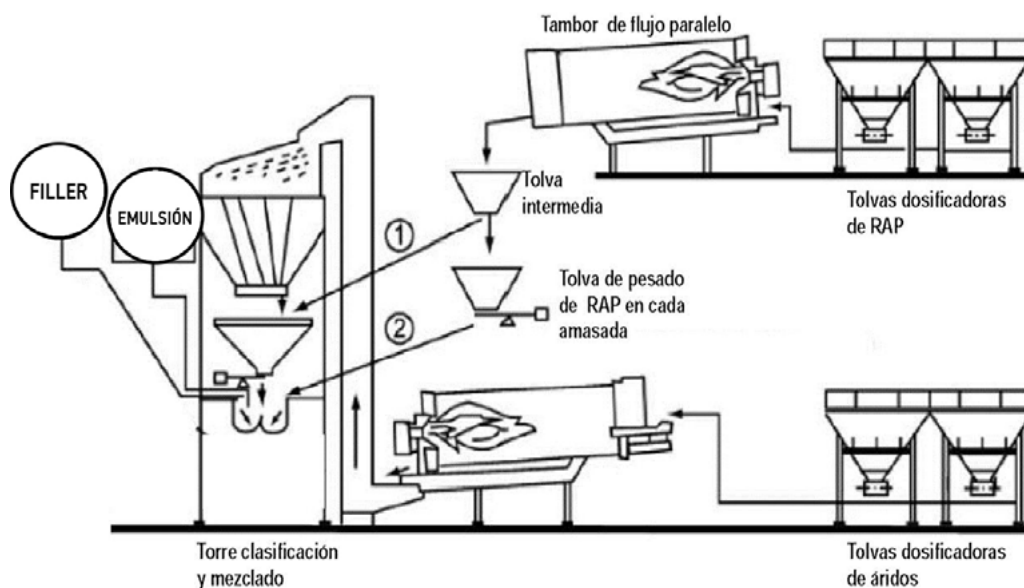


Figura 21: Esquema de la fabricación de MBTRE con doble tambor. Opción 1: RAP directo a la bascula de la central.

Opción 2 RAP directo al mezclador previo pesada en una bascula independiente. (Fuente: SNF2018)

En general, se usan los secaderos de flujo paralelo ya indicados, si bien existen ya secaderos **de contraflujo de última generación**, específicos de calentamiento de RAP, con cámara de gases separada y recirculación parcial de éstos y calentamiento de RAP por gases con temperatura controlada e inferior a 450 °C.

Desarrollados para procesar RAP en reciclados a tasa total, o muy alta tasa, en centrales de doble tambor.

Aunque su capacidad térmica consigue temperaturas de 150-160 °C preservando las cualidades de su ligante, pueden aplicarse también en un rango de temperaturas inferiores, el de mezclas templadas.

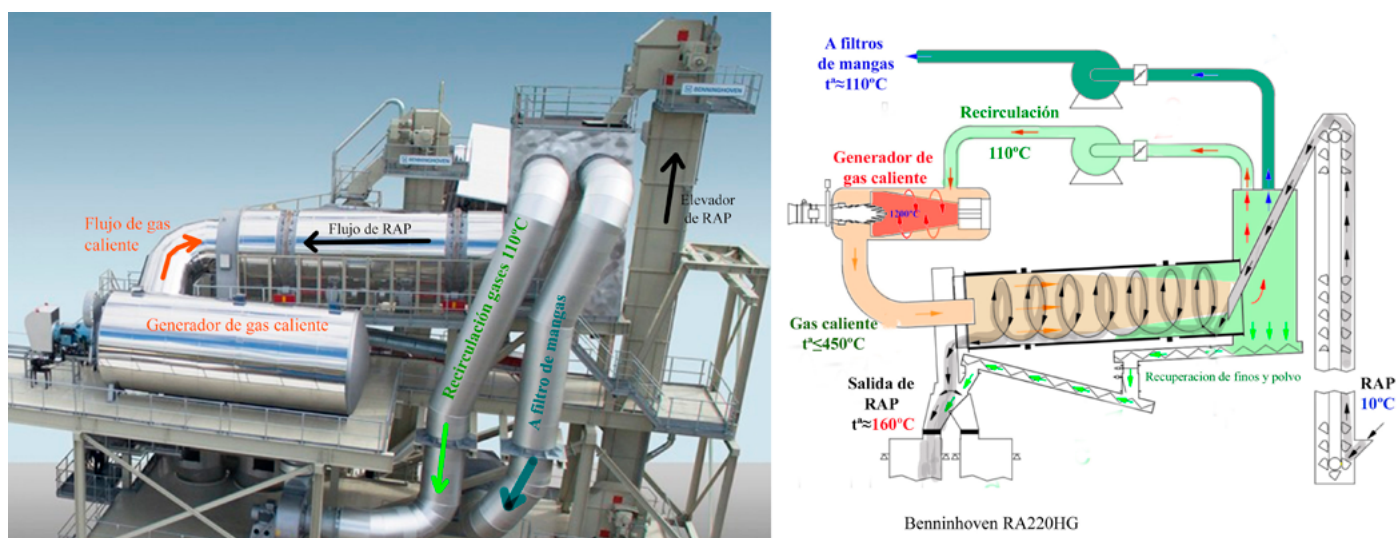


Figura 22: Sistema de calentamiento de RAP de Benninghoven para reciclado templado.

3.3.3 CALENTAMIENTO MIXTO

Si bien un ejemplo en reciclado en caliente, sería el de centrales de doble tambor, en el que el RAP se sube a unos 100-120 °C, para asegurar su desmenuzado y licuefacción de su ligante, en su secadero de flujo paralelo y se lleva a la temperatura de final de la mezcla por transferencia de calor desde áridos sobrecalentados en su propio secadero de áridos, en el caso de mezclas templadas con emulsión se seguirían secando los áridos a temperaturas por encima de 100 °C, mientras que en el tambor de RAP, éste se calentaría ligeramente por encima del punto de reblandecimiento de su ligante, siendo en la práctica una aplicación de sistemas de calentamiento directo más que mixto, ya que, la transferencia de calor al RAP sería residual.

Un caso más claro y típico sería el de las viejas Drum Mix, con anillo intermedio de entrada de RAP; el RAP se lleva a la temperatura final de la mezcla absorbiendo calor tanto de la corriente de gases como de los áridos.

a) Calentamiento del RAP con tambor secador compartido con el árido

Los tambores secadores de flujo paralelo, normalmente, son sistemas de calentamiento mixto. La temperatura de áridos sufre una caída en la sección dónde se incorpora el RAP, al que ceden calor. El RAP adquiere su temperatura, por tanto, por transferencia de calor desde los áridos y por calentamiento por los gases.

No obstante, existe alguna excepción, en el caso de tambores de flujo paralelo específicos, donde se lleva a cabo un calentamiento directo del RAP, en este caso, no se introduce el árido al principio, sino que se introduce el RAP en uno (o dos) anillos en una sección algo retirada de la llama.

Tambores secadores de flujo paralelo o contracorriente (contraflujo).

El RAP se incorpora en una zona del tambor protegida de la llama. Normalmente 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 (fuera de calentamiento y corriente de gases calientes).

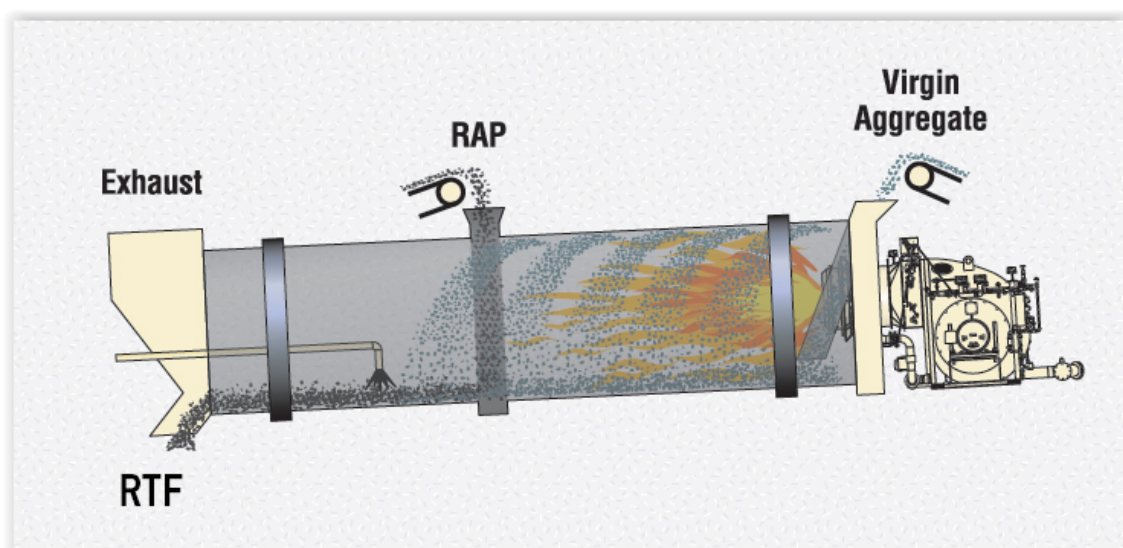


Figura 23: Tambor secador- mezclador de una central de mezcla continua de flujo paralelo. [Fuente: Astec]

Los áridos se van calentando según avanzan y su temperatura sufre una caída en la sección dónde se incorpora el RAP, al que ceden calor. El RAP adquiere su temperatura, por tanto, por transferencia de calor desde los áridos y por calentamiento por los gases y la tasa de reciclado puede ser relativamente alta, al buscar una temperatura final de 100 °C.

b) Calentamiento del RAP con tambor concéntrico al secadero y posteriormente con el árido

En el caso de las centrales de mezcla continua que utilizan tambores concéntricos al secadero de áridos, se aprovecha el calor irradiado por el tambor secador a la corona concéntrica, dejando el RAP protegido. Además, aprovecha la transferencia de calor de los áridos al mezclarse con éstos, siendo un método mixto de calentamiento.

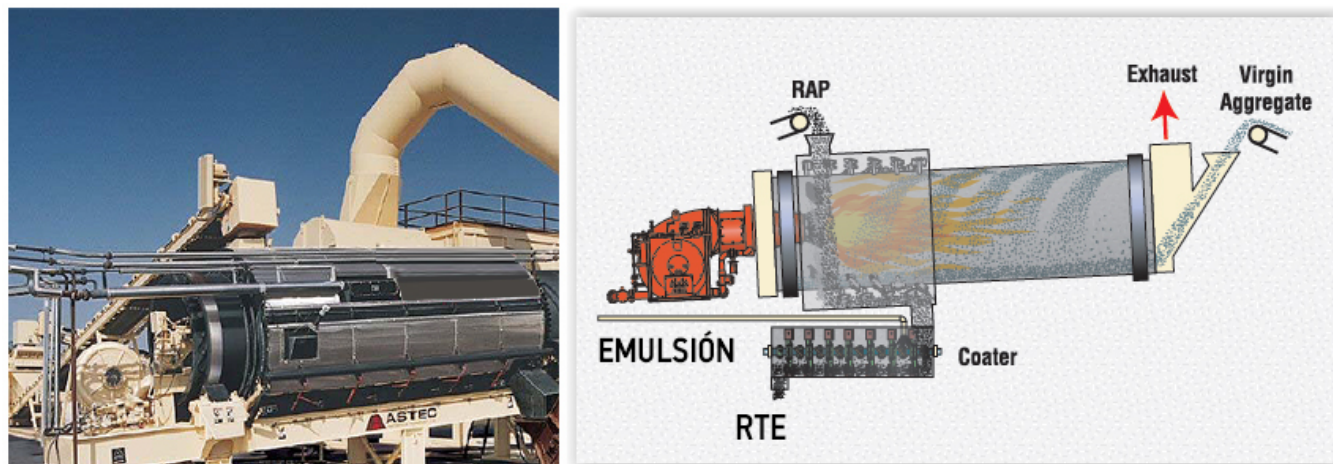


Figura 24: Central de fabricación con doble tambor concéntrico. Fuente: Astec

3.4 MEZCLADO DE LOS MATERIALES YA CALENTADOS Y LA EMULSIÓN

Unas recomendaciones a tener en cuenta en el proceso de amasado de la mezcla templada son: La secuencia de entrada de materiales al mezclador recomendable es la siguiente: árido-RAP (si procede) – emulsión - polvo mineral.

Tanto en el caso de las centrales de mezcla continua como discontinua, el proceso de mezclado se realiza de forma similar a las centrales convencionales de mezclas en caliente.

Los tiempos de mezclado han de ser tales que se consigan las temperaturas indicadas en la fórmula de trabajo. Asimismo, en el caso de mezclas recicladas, el tiempo de mezclado ha de asegurar el calentamiento y desmenuzando del RAP antes de la incorporación de la emulsión.

A tal fin, existe un sistema de control automático de la temperatura de la mezcla en el mezclador.

Tanto en las centrales convencionales de fabricación de mezcla bituminosa en caliente, que se adaptan para la fabricación de MBTE, como en las centrales específicas de fabricación de mezclas templadas, en las que se emplee transferencia de calor de áridos sobrecalentados al mezclador, 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.

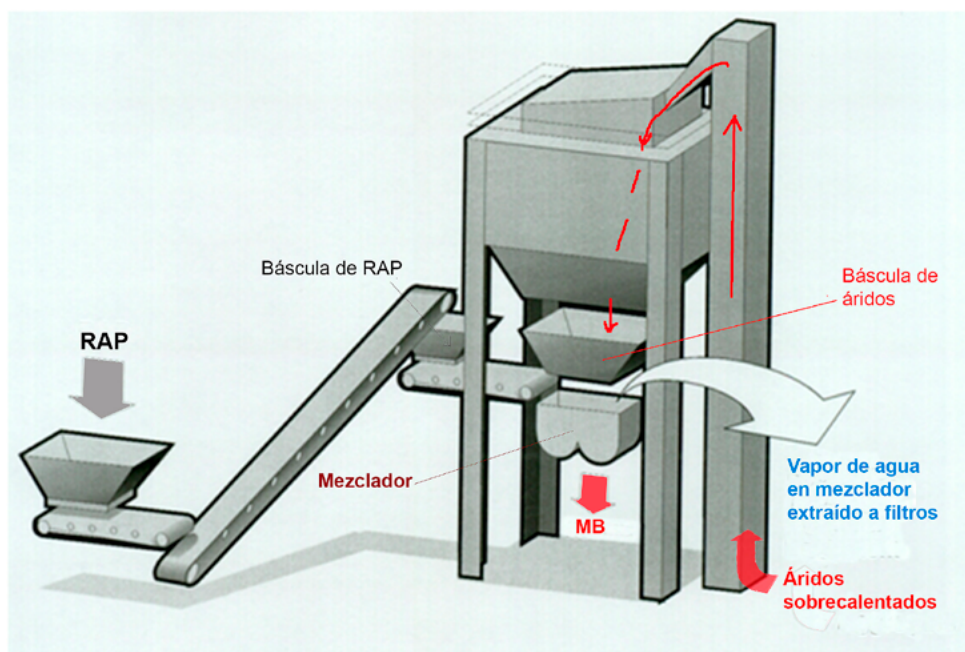


Figura 25: Sistema de ventilación en la zona superior del mezclador. (Fuente: ATEB)

Posteriormente, ya sea la central de mezcla continua o discontinua, la MBTE puede verterse directamente al 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 será entorno a los 100 °C.

4. RANGOS DE RAP RECOMENDABLES SEGÚN SU SISTEMA DE CALENTAMIENTO

4.1 CALENTAMIENTO POR TRANSFERENCIA DE CALOR

En el caso de calentamiento indirecto del RAP o áridos fríos, es decir por transferencia de calor, el intercambio de calor se produce en el mezclador y es el árido 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 se puede emplear la siguiente fórmula, según se indica en la O.C. 40/2017, Art.22.7.1.3.1:

$$T_{\text{ARIDOS}} = (T_{\text{Fmezcla}} - \% \text{RAP} * T_{\text{RAP}}) / (1 - \% \text{RAP}) + [(H_{\text{RAP}} * (637 - T_{\text{RAP}}) * 4 * \% \text{RAP} * (1 - \% \text{RAP}))]$$

Donde:

T_{ARIDOS} es la temperatura de los áridos de aportación en °C,

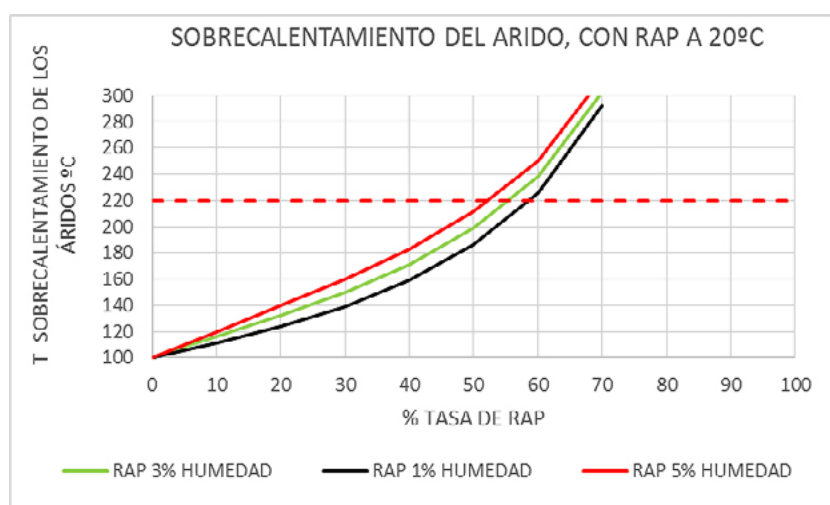
T_{Fmezcla} es la temperatura final de la mezcla en °C,

RAP es la tasa de RAP en la mezcla en porcentaje,

H_{RAP} es la humedad del RAP en porcentaje

T_{RAP} es la temperatura de RAP en °C.

Si aplicamos esta ecuación para un RAP que se encuentra a una temperatura ambiente de 20 °C con diferentes contenidos de humedad, obtenemos el siguiente gráfico.



Se puede observar que se podrían alcanzar tasas de hasta el 60% en condiciones óptimas del RAP tratado pero esto no es frecuente.

Figura 26: Temperatura de sobrecalentamiento del árido de aportación en función del % RAP tratado. Efecto de la humedad en la tasa de RAP.

Lo mas habitual, es emplear tasas de RAP entorno al 50% a las que se llega sin mucho problema a poco que el RAP fraccionado se haya cuidado. No obstante, mediante esta técnica de reciclado templado con emulsión se permite reutilizar mayor tasa 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.

Tabla 2: Rangos de RAP recomendable en función del tipo de central de fabricación por el metodo de transferencia de calor.

CALENTAMIENTO DEL RAP POR TRANSFERENCIA DE CALOR	CENTRALES DE MEZCLA CONTINUA		CENTRALES DE MEZCLA DISCONTINUA	
	CONTRAFLUJO (ANILLO CONCÉNTRICO TRAS LA LLAMA)		RAP A LA BASE DEL ELEVADOR (FIG. 14)	RAP AL MEZCLADOR (FIG. 12-13)
	TAMBOR SECADOR CON MEZCLADOR SEPARADO (FIG. 15)	TAMBOR SECADOR CON MEZCLADOR INCORPORADO (FIG.16-17)		
% RANGO DE RAP	40-50%*		10-15%**	40-60%

**Siempre que se asegure la homogeneidad térmica del RAP antes de aplicar la emulsión.*

***Cuidado con la colmatación de cribas si se mantiene la clasificación en caliente la tasa máxima seria del 10%, por bypass podría ser de hasta el 15%.*

4.2 CALENTAMIENTO DIRECTO Y MIXTO

Entre otros factores, como por ejemplo la humedad del RAP, el sistema de calentamiento del RAP que se disponga en la central delimitará la tasa máxima de RAP 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 los rangos de RAP recomendables que se suelen utilizar en función del tipo de calentamiento del RAP, el tipo de central y el tipo de incorporación.

Tabla 3: Rangos de RAP recomendables para una central de mezcla discontinua con calentamiento directo.

CENTRAL DE MEZCLA DISCONTINUAS				
CALENTAMIENTO DIRECTO	FLUJO PARALELO	CONTRAFLUJO		DOBLE TAMBOR
	ANILLO INTERMEDIO RETRASADO RESPECTO A LA CÁMARA DE GASES	ESPECÍFICOS	CONVENCIONALES ADAPTADOS	
% RANGO DE RAP	80-100%	100%	50-80%	100%

Tabla 4: Rangos de RAP recomendables para una central de mezcla continua o discontinua con calentamiento mixto.

CENTRAL DE MEZCLA DISCONTINUAS O CONTINUAS		
CALENTAMIENTO MIXTO	SECADERO COMPARTIDO	
	FLUJO PARALELO O CONTRAFLUJO ANILLO INTERMEDIO (FIG.22)	TAMBOR CONCÉNTRICO AL SECADERO DE ÁRIDOS (FIG.23)
% RANGO DE RAP	50-60	50-70

5. NORMATIVA

A día de hoy, existen algunas recomendaciones para la redacción de pliegos para este tipo de mezclas bituminosas templadas con emulsión. De momento, las **MBTE** no están contempladas en los pliegos del Ministerio de Fomento, pero si existen algunas recomendaciones que han publicado asociaciones y algunas administraciones publicas provinciales:

La Junta de Andalucía dispone de unas recomendaciones de pliegos de especificaciones técnicas para el uso de mezclas bituminosas a bajas temperaturas desde el año 2012. Este pliego contempla en su artículo 1 las mezclas templadas con emulsión, donde permite la incorporación de RAP en tasas de hasta el 10%.

El Gobierno Vasco, está en fase de aprobación del pliego de especificaciones para mezclas templadas con emulsión. Este pliego contempla las MBTE y RTE.

El comité de carreteras de vías de baja intensidad de tráfico de la **Asociación Técnica de Carreteras (ATC)**, ha publicado recientemente (Noviembre 2018) dos recomendaciones de posibles pliegos para mezclas bituminosas templadas con emulsión y reciclados templados con emulsión.

6. APLICACIÓN

En cuanto a la aplicación de estas mezclas, en los pliegos o recomendaciones publicadas se consideran que son de aplicación en carreteras de baja intensidad de tráfico, es decir, para tráficos T2 o inferiores.

Se puede utilizar en **rehabilitación de firmes y en la construcción de obra nueva**.

En el pliego de recomendaciones desarrollado en la ATC, se contempla el empleo de estas MBTE o RTE en cualquier capa (base, intermedia y rodadura) para categorías de tráfico pesado T31 o inferior o que su intensidad media diaria sea inferior a 200 vehículos/día.

En el pliego del Gobierno Vasco sobre mezclas templadas con emulsión, se contempla la utilización

de RAP en capas de rodadura hasta un **15%** para tráficos **T2B e inferiores**. Para capas de intermedias y bases, se permite su utilización hasta un 30% en tráfico T2B y hasta el 80% para tráficos T3 e inferiores.

En el pliego de la Junta de Andalucía se permite utilizar **RAP** sólo en tasas de hasta el 10%. Las **MBTE** se permiten utilizar en categorías de tráfico pesado T2 e inferiores y se menciona la posibilidad de usarlas en tráficos superiores bajo un estudio específico.

6.1 EXPERIENCIAS

En la siguiente tabla se recoge la experiencia Española en la utilización de esta técnica de **MBTE y RTE**.

Se han enumerado en función de la tasa de RAP, siguiendo el criterio de **ATEB**.

Previo a las experiencias españolas se llevaron a cabo importantes obras de reciclado templado con emulsión con tasas de hasta el 100% en Portugal con la participación de empresas Españolas.

ADMINISTRACIÓN	MEZCLA Y CAPA	CARRETERA	CATEGORIA DE TRÁFICO	LOCALIDAD	%RAP	TONELADAS	AÑO
TASA TOTAL DEL 80-100% RAP							
Junto de Castilla y León	RE2	CL-600	T3	VALLADOLID	100	1.600	
	ACBE 16D BIN	A-231		PALENCIA	100	415	
Ministerio de Fomento	ACBE 16D BIN			BURGOS	100	770	
Ayuntamiento de Madrid	ACBE 22D	c/MENDEZ ALVARO		MADRID	100	1746	2015

ADMINISTRACIÓN	MEZCLA Y CAPA	CARRETERA	CATEGORIA DE TRÁFICO	LOCALIDAD	%RAP	TONELADAS	AÑO
TASA TOTAL DEL 80-100% RAP							
Ayuntamiento de Seseña	ACBE 22D			SESEÑA-TOLEDO	100	100	2015
Diputación Foral de Gipuzkoa	ACBE 16G SURF	GI-3652	T4	SAN ANDRES-GIPUZKOA	80		2011
	ACBE 22S SURF	GI-3591	T4	ARANTZAZU-GIPUZKOA	80	4.637	2014
	ACBE 16S SURF	GI-2637	T4	GIPUZKOA	80	3.697	2016
Diputación Foral de Bizkaia	ACBE 16S SURF	VIAL	T3	ORTUELLA-BIZKAIA	80	798	2016
ALTA TASA DEL 50-79% RAP							
Ayuntamiento de Madrid	ACBE 22D	C/ MENDEZ ALVARO		MADRID	75	665	2015
Ayuntamiento de Seseña	ACBE 22D			SESEÑA-TOLEDO	75	100	2015
Junta de Castilla y León	ACBE 22G BASE	A-231		PALENCIA	50	9.400	
Diputación Foral de Gipuzkoa	ACBE 16S SURF	GI-2637	T3-T4	OTZAUURTE-GIPUZKOA	50	1.380	2018
TASA MEDIA <49% RAP							
Diputación Foral de Gipuzkoa	ACBE 16S SURF	GI-2637	T3-T4	ZEGAMA-GIPUZKOA	30	1.871	2017
SIN FRESADO							
Junta de Andalucía	ACBE 22G	A435		CORDOBA	0	15000	
	ACBE 16S	A435		CORDOBA	0	14000	
	ACBE 16S	A435		CORDOBA	0	14000	

ADMINISTRACIÓN	MEZCLA Y CAPA	CARRETERA	CATEGORIA DE TRÁFICO	LOCALIDAD	%RAP	TONELADAS	AÑO
SIN FRESADO							
Junta de Castilla la Mancha	ACBE 16S	CR500		CIUDAD REAL	0	15000	
Junta de Castilla y León	ACBE 22S	CL600		VALLADOLID	0	600	
Diputación Foral de Gipuzkoa	ACBE 16S SURF	GI2635	T3	AZPEITIA-GI-PUZKOA	0		
	ACBE 16G SURF	GI3481	T4	LARRAUL-GI-PUZKOA	0		

7. CONCLUSIONES

Las mezclas bituminosas templadas con emulsión con y sin material de fresado (RAP) en su composición, son mezclas que se fabrican a temperaturas inferiores que las mezclas en caliente o semicalientes lo cual permite reducir los consumos de combustibles y las emisiones de gases de efecto invernadero, que según bibliografía estas reducciones están en un rango de entre el 10-40 %.

Las mezclas templadas recicladas con emulsión son mezclas que claramente contribuyen a la economía circular por la reutilización de un material de desecho susceptible de ser reciclable al 100 %. Son mezclas amigables con el medio ambiente.

Se trata de una técnica que permite reutilizar hasta el 100 % de material de fresado procedente de capas envejecidas en central, pero requiere de inversiones en las centrales de fabricación convencionales, que serán de mayor o menor envergadura según el sistema de fabricación y/o la tasa de material de fresado que se quiera reutilizar.

Además, esta técnica al requerir menor temperatura de fabricación lleva asociado un menor envejecimiento del ligante residual, lo cual contribuye a que las mezclas sean más durables y por lo tanto contribuyen con una reducción de gases de efecto invernadero entorno a un 30-40 %. Así pues, estas mezclas templadas encajan a la perfección en los principios de la sostenibilidad, durabilidad y

económica circular, que deben ser el motor principal para promover su empleo.

No obstante, la producción de MBTE, en España en el año 2016 supuso solo un 0,23% de MBTE de la producción total de mezclas bituminosas, liderando su empleo Holanda con una producción del 1,2%.

Para revertir esta situación, tanto las administraciones públicas como las empresas están realizando un gran esfuerzo para fomentar el uso de estas mezclas, muestra de ello es la aparición recientemente de documentos de ayuda para la redacción de pliegos que prescriben este tipo de mezclas templadas con emulsión, lo cual lleva por detrás una serie de obras y estudios que están permitiendo conocer el comportamiento de estas mezclas y su aplicación.

No obstante, todavía es necesario seguir trabajando para convencer al sector de los beneficios del empleo de estas mezclas y así promover un empleo en mayor escala en nuestras carreteras.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *Manual de control de fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas*. 1978 (MOPU)
2. *Monografía de ATEB, Mezclas Templadas con Emulsión Bituminosa*.
3. *Utilización de mezclas bituminosas templadas con emulsión en la construcción y rehabilitación de firmes de carreteras de intensidades de tráfico medias y bajas*. SNF2018, Madrid. Barral et al
4. *Reciclado panorámica actual*. Presentación Sesión 3 SNF2018, Madrid. Garcia J.L.
5. *Recomendaciones para la redacción de Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares de Firmes y Pavimentos Bituminosos de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico*. ATC 2018
6. *Pliego de prescripciones Técnicas de Mezclas bituminosas templadas con emulsión del Gobierno Vasco* (pendiente publicación)
7. *Recomendaciones para la redacción de pliegos de especificaciones técnicas para el uso de mezclas bituminosas a bajas temperaturas*. Junta de Andalucía 2012.
8. *Orden Circular 40/2017 sobre reciclado de firmes y pavimentos bituminosos*. (PG4)
9. *Sampedro A. Reflexiones ambientales sobre la necesaria rehabilitación de firmes*. SNF 2018
10. *Asphalt in figures 2016*, EAPA



ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS

www.ateb.es | gerencia@ateb.es