

Instalaciones fijas de fabricación de mezclas bituminosas recicladas¹



Fixed Manufacturing Facilities for Recycled Asphalt Mixes

Anna París Madrona
*Ingeniero de Montes
Parma Ingeniería S.L.*

Francisco José Lucas Ochoa
*Ingeniero de Caminos,
Canales y Puertos.
Repsol Lubricantes
y Especialidades S.A.*

Julio José Vaquero García
*Ingeniero de Caminos,
Canales y Puertos del Estado.
Presidente del Comité de Firms.
ATC*

Resumen

Es relativamente sencillo adaptar cualquier central asfáltica para la producción de mezclas con bajas tasas de reciclado (entendiendo como tal la proporción en que los materiales procedentes del fresado de mezclas envejecidas entran a formar parte de la mezcla reciclada).

Las tasas de reciclado medias y altas (superiores al 25 %) exigen, sin embargo, instalaciones complementarias notablemente más complejas y costosas. Las alternativas ofrecidas por los fabricantes de centrales asfálticas son, seguramente, la mejor opción en estos casos. Este tipo de instalaciones permiten la incorporación de elevadas proporciones de material fresado en condiciones técnicas y ambientales adecuadas, y con las menores inercias de comienzo y fin de producción, lo que permite fabricar la mezcla con los estándares de calidad adecuados, con buenos rendimientos durante todo el proceso y con la mínima afeción al medio ambiente.

En este artículo se describen las configuraciones más habituales, algunas de las cuales no exigen más que disponer de una tolva y una cinta alimentadora para incorporar el material fresado a la mezcla bituminosa, mientras que otras constituyen verdaderas centrales de fabricación.

Abstract

It's relatively easy to adapt any hot asphalt central for the production of mixtures with low recycling rates (meaning the proportion that the materials from milling aged mixtures become part of the recycled mixture).

Rates of medium and high recycling (over 25%) require, however, additional facilities considerably more complex and expensive. Alternatives offered by manufacturers of asphalt plants are, surely the best option in these cases. This type of facilities allow incorporation of high proportions of milled material in technical conditions and appropriate environmental, and lower inertia during the start and end of production, allowing manufacture mixing with appropriate quality standards, with good yields throughout the process and with the minimum effect on the environment.

This article describes the most usual configurations, some of them don't require more than provide aggregate bins and feeder to incorporate milling material to the asphalt mix, while others are real manufacturing plants.

¹ Comunicación presentada al XXV Congreso Mundial de la Carretera celebrado en Seúl del 2 al 6 de noviembre de 2015.

Las capas bituminosas de los firmes de carretera llegan al final de su vida útil como consecuencia de fisuras, grietas o deformaciones que les hacen perder las propiedades para las que fueron diseñadas.

Una de las ventajas de las mezclas bituminosas es que, después de muchos años de puestas en servicio, los materiales que las constituyen, áridos y betún, conservan sus propiedades originales. Aunque el betún envejece, la mayor parte de este envejecimiento se produce durante las fases de fabricación y puesta en obra de la mezcla, y no durante su vida útil.

Otra propiedad de las mezclas bituminosas es que, con la incorporación de un betún rejuvenecedor o de un betún con agentes rejuvenecedores, se puede lograr, una vez mezclado con el betún del fresado, que la mezcla de ambos ligantes se corresponda con un betún de nueva aplicación.

Por tanto, aceptando que se disponga de los medios y procedimientos adecuados para su fabricación, de las mezclas bituminosas recicladas en caliente en central sólo cabe esperar propiedades y comportamientos en servicio muy similares a los de las mezclas bituminosas convencionales. La consideración de la equivalencia de ambos tipos de mezclas, acreditada por un sinnúmero de experiencias internacionales, es un buen modo de aproximarse a esta técnica y el mejor indicador del alcance de su campo de aplicación potencial.

Finalmente hay que destacar que la regeneración es tan efectiva en una mezcla bituminosa reciclada, que en la práctica no es posible distinguir mediante ensayos convencionales sobre la mezcla bituminosa terminada, si contiene o no materiales fresados y, en su caso, cuál ha sido la proporción en la que estos últimos han participado en su composición.

1. Antecedentes de los reciclados en central en España

El reciclado de las mezclas bituminosas de los firmes de carreteras se remonta a principios de los años 70, cuando estas técnicas fueron impulsadas por el brusco encarecimiento de los productos asfálticos, que se produjo como consecuencia de la crisis del petróleo que se inició en 1973. Desde los Estados Unidos distintas técnicas de reciclado de firmes alcanzaron Europa, introduciéndose en España unos diez años más tarde, cuando comenzó a disponerse de centrales continuas de tambor secador - mezclador y de fresadoras de gran capacidad. En concreto, las primeras obras de reciclado en caliente en central se realizaron por cuenta de ACESA (Autopistas Concesionaria Española, S. A.) en 1984, alcanzándose tasas de reciclado (entendiendo como tal la proporción en que los materiales fresados intervienen en la composición de la mezcla final) de hasta el 40 %.

Sin embargo, la posterior contención de los precios del betún asfáltico, la relativa abundancia y el bajo coste de los áridos, y una escasa preocupación ambiental, entre otras causas, propiciaron un prematuro abandono de la técnica, antes de superar el terreno puramente experimental.

La práctica desaparición de las centrales continuas, que pasaron de constituir la tipología dominante en el periodo 1984-1988 a casi desaparecer a partir de 1993, ha sido mencionada como una causa más del relativo retraso que la técnica de reciclado en central ha sufrido en España, en comparación con los países de su entorno socio-económico.

En el periodo 1999-2001, gracias al interés mostrado por algunas empresas y administraciones públicas, las técnicas de reciclado en central adquirieron, de nuevo, una presencia notable. En Cataluña se equiparon dos de sus centrales discontinuas con instalaciones especiales para

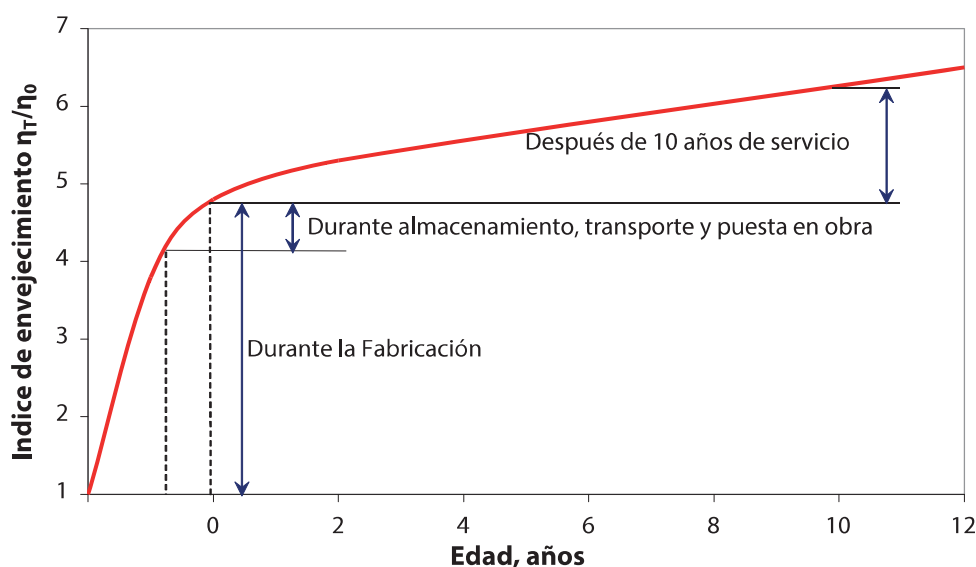


Figura 1. Índice de envejecimiento (η_T/η_0) de un ligante bituminoso



Figura 2. Instalación asfáltica equipada para fabricar reciclado en altas tasas

producir mezclas con elevadas tasas de reciclado. En Andalucía, la administración autonómica promovió una actuación de gran envergadura en la Autovía A-92.

Entre septiembre de 2002 y enero de 2003, se desarrolló el proyecto de investigación PARAMIX (*Road Pavement Rehabilitation Techniques Using Enhanced Asphalt Mixtures*), financiado por la Comunidad Europea, en el marco de su programa *Competitive and Sustainable Growth*. Su objetivo fundamental fue el de mejorar los materiales, el diseño y las técnicas de construcción para la rehabilitación de firmes utilizando mezclas recicladas. Tuvieron lugar diferentes actuaciones de rehabilitación sobre la carretera C-58, próxima a Barcelona, utilizándose distintos tipos de mezclas bituminosas recicladas en caliente en una central discontinua, con tasas de reciclado comprendidas entre el 30 y el 50 %, hasta construirse un total de 11 tramos experimentales con una extensión de entre 300 y 400 m cada uno de ellos.

En el año 2004 se pusieron en obra unas 30 000 t de mezcla bituminosa en caliente con una tasa de reciclado del 50 %, en el tramo Viella-Frontera francesa de la N-230, empleando para ello una central continua tipo *double barrel* de ASTEC, que volvería a emplearse al año siguiente en una rehabilitación de la autovía A-7, entre los puntos kilométricos 566 y 572, para fabricar 20 000 t de mezcla bituminosa con idénticas proporciones de materiales fresados.

En 2007, se alcanzó una tasa de reciclado del 60 % en la rehabilitación del firme de la carretera A-140, entre las poblaciones de Tamarite y Binéfar (Huesca), en la que, hasta el momento, constituye la máxima tasa de reciclado en central utilizada en España, también con una central *double barrel* de ASTEC.

En 2008 se emplearon 20 000 t de mezcla reciclada, con una tasa del 40 % de fresado, en la capa de base del tronco principal y los enlaces de la autovía A-5, en el tramo comprendido entre el límite de la provincia de Toledo y el enlace con Almaraz, empleándose para ello una instalación asfáltica móvil de tipo discontinuo fabricada por Intrame con una capacidad de 200 t/h.

La obra más importante de rehabilitación de firmes con reciclado en caliente de mezclas bituminosas, se realizó en los años 2011 y 2012 en la provincia de Cáceres, en la N-521, en la que se utilizaron aproximadamente 260 000 t de mezcla bituminosa en caliente, de las cuales 100 000 t (algo más del 38 %) procedían del reciclado en central con una tasa media (20 a 25 %).

En la solución estructural establecida, el fresado y reposición se realizó con mezcla bituminosa reciclada en central con una tasa media (25 %) y el recrecido proyectado consistió en un paquete compuesto por mezcla bituminosa reciclada en caliente, también con una tasa media (20 %) sobre la que se extendió una mezcla convencional. Para la ejecución de la obra se dispuso de una central asfáltica discontinua de 200 t/h, a la que se le añadió un equipo para reciclar, consistente en dos tolvas receptoras de fresado y una tolva de incorporación del material fresado en la mezcladora (*RAP – Reclaimed Asphalt Pavement*), con pesado independiente.

En 2015 esta técnica se ha utilizado en la obra de refuerzo del firme de la autovía A-62 en la provincia de Valladolid, en la que la solución ha sido una capa de base tipo AC 22 base G, con una tasa de reciclado del 20 %.

2. Normativa en España

Los procedimientos de reciclado de firmes se han ido incorporando poco a poco a la normativa vigente, lo que ha de ayudar a su difusión y desarrollo. En la reciente actualización del PG 3 [1] se contempla la utilización de distintos porcentajes de *RAP* en la fabricación en central de mezclas bituminosas en caliente empleadas en capas de base e intermedias. Estos porcentajes se dividen en tres niveles:

- Inferior al 15 %: el uso del fresado se ha de realizar atendiendo a las indicaciones de los apartados relativos a la central de fabricación y de fabricación de la mezcla.
- Del 15 al 60 % se ha de estar a lo dispuesto en la reglamentación específica sobre reciclado de firmes [2].
- Superior al 60 %, reservado a casos especiales que requieren un estudio y autorización específicos para llevarse a cabo.

La reglamentación sobre reciclado de firmes [2] incluye tres artículos que contemplan las técnicas de reciclado *in situ* de capas bituminosas con emulsión, de reciclado *in situ* de capas de firme con cemento, y el reciclado en central en caliente de mezclas bituminosas, estableciendo para cada una de estas técnicas las condiciones que han de reunir los materiales y equipos utilizados en cada una de ellas.

Por último, en la normativa de diseño para la rehabilitación de firmes [3] se establece la equivalencia estructural entre las capas de mezcla convencional y las recicladas (0,75 para mezclas recicladas en frío *in situ* con emulsión, y de 0,8 a 1, en función de la tasa de reciclado, para las mezclas recicladas en caliente en central); además de las limitaciones para su uso en función de la categoría del tráfico y de la situación de la capa.

3. Instalaciones asfálticas para reciclado en caliente de mezclas bituminosas

Son numerosos los procedimientos utilizados para hacer posible que las centrales asfálticas aprovechen los materiales recuperados de los firmes bituminosos. En algunos casos se trata simplemente de adaptaciones en los sistemas de alimentación, aptas para bajas tasas de reciclado; en otros se incorporan nuevas instalaciones concebidas al efecto; y hay por fin centrales que por su propia configuración admiten altas tasas de reciclado sin necesidad de modificaciones específicas.

La forma y cuantía en que las centrales asfálticas pueden fabricar mezclas recicladas depende fundamentalmente de su modo de producción. Para describirlos se distingue entre los sistemas de reciclado de las centrales discontinuas o de amasadas, y los de las continuas, entre éstas, en particular, las de tambor secador - mezclador.

EQUIPOS PARA RECICLADO EN CALIENTE EN CENTRAL
CENTRALES DISCONTINUAS
• ALIMENTACIÓN EN ELEVADOR DE CANGILONES • CON PESADA Y TOLVA INDEPENDIENTES • CON TAMBOR SECADOR DIFERENCIADO
CENTRALES DE TAMBOR SECADOR
• DE FLUJO PARALELO Y ANILLO RECICLADO • DE QUEMADOR RETRASADO (RETROFLUX) • DE DOBLE TAMBOR

Figura 3. Sistemas de reciclado en caliente en central

3.1 Reciclado en caliente en centrales discontinuas

Cuando se trata de utilizar centrales discontinuas convencionales, los sistemas de reciclado más utilizados son tres:

- Incorporación del material fresado en el elevador de cangilones o en la caída del tambor secador: Aquí el fresado se une a los áridos vírgenes, previamente calentados en el tambor secador, que se pueden dirigir a la mezcladora clasificados en caliente, (es decir, pasando por la clasificación de áridos en caliente), o bien sin clasificar, esto es, introducidos por el conducto del *by-pass*. Las tasas de reciclado en esta configuración de planta no superan el 15 %.
- Incorporación del material fresado en la tolva de pesaje de la torre dosificadora: Esta configuración permite incorporar el fresado en la báscula de áridos en caliente e intercalarlos con el árido virgen calentado en el secador. Generalmente conviene disponer de una amasadora de una capacidad superior a la correspondiente a la producción real de la central; se deben prolongar los tiempos de amasado, para que la envuelta sea correcta; y se debe disponer de un sistema de extracción de vapor (superior al de una configuración convencional) para evacuar los caudales de vapor que genera la incorporación del fresa-

do en este punto del proceso. Las tasas de reciclado en esta configuración no superan el 25 %.

- Incorporación del material fresado en una tolva de pesaje independiente: Una vez pesado, el fresado va hacia un tolvin de regulación que lo incorpora a la mezcladora, aumentando el intervalo de la amasada y retrasando el ciclo de la mezcla. De este modo, se consigue disponer de más tiempo para evacuar el caudal de vapor, lo que permite reciclar tasas de hasta el 25 %. Igual que en el sistema anterior, se debe disponer de una amasadora, con un rendimiento superior al del tambor secador, y de un sistema de extracción de vapor de agua superior al de una planta convencional.

En los tres casos el calentamiento se produce por intercambio de calor, durante un corto intervalo de tiempo, con los nuevos áridos sobrecalentados: lo que, en función de las temperaturas necesarias o de la humedad del material, limita la tasa de reciclado a valores del 10 % en el caso de la incorporación del material fresado en el elevador de cangilones, y del 25 % en la incorporación del RAP en la mezcladora desde un silo con pesada independiente.

Existen, por otra parte, instalaciones de reciclado concebidas para las centrales discontinuas que suponen adaptaciones de mucha mayor envergadura. Así, se ha llegado a disponer de un segundo tambor secador independiente (calentado por aire o con la llama protegida) en el que se introduce el material fresado para su calentamiento. Una vez caliente este material es elevado a la torre de clasificación, desde donde se dosificará como un componente más de la mezcla bituminosa.

Ya se ha mencionado que la tasa de reciclado que es posible alcanzar, en cualquier central discontinua, se halla limitada por dos factores: la necesidad de evacuar convenientemente, y sin que se produzcan condensaciones, las grandes cantidades de vapor de agua que se generan cuando la temperatura del material fresado se eleva considerablemente en un corto periodo de tiempo; y por los tiempos de mezclado precisos para obtener una mezcla homogénea en composición y temperatura.



Figura 4 - Incorporación del fresado en el conducto de descarga del tambor secador



Figura 5. Instalación asfáltica de tipo discontinuo con tambor secador independiente para el material fresado

Por ello, para reciclar con altas tasas en una instalación asfáltica de tipo discontinuo se debe disponer de un segundo tambor, cuya misión es la de calentar el material fresado, a una temperatura superior a la ambiente, pero limitada, para evitar los deterioros del betún contenido en él.

Una vez calentado, el material fresado se eleva, mediante un elevador de tablillas, hacia una tolva de regulación, que lo dirigirá a una tolva de pesado para que, una vez dosificado, sea introducido en la mezcladora de la central. Esta configuración permite alcanzar tasas de reciclado de hasta el 50 %.

En este tipo de instalaciones es aconsejable que la mezcladora sea de mayor rendimiento que el secador, ya que absorberá las producciones de los dos tambores. También es preciso que el filtro de mangas tenga mayor rendimiento que en una instalación convencional, ya que tiene que filtrar los gases y partículas generadas en los dos tambores.

3.2 Reciclado en caliente en centrales de tambor secador - mezclador (o centrales continuas)

Por su propia configuración el reciclado se realiza con muchas menos dificultades en las centrales continuas. De

hecho, las primeras experiencias de reciclado en caliente en nuestro país se realizaron con este tipo de central, llegando a alcanzar tasas de reciclado de hasta un 40 %. Se describen a continuación tres distintos tipos de tambor secador - mezclador (TSM) y la forma de fabricar mezclas recicladas con cada uno de ellos.

3.2.1 Tambor secador mezclador de flujo paralelo

Corresponden a la primera generación de TSM. En ellos los áridos y la corriente de gases fluyen en el mismo sentido al entrar los áridos junto al quemador. En la Figura 6 vemos el esquema de este tipo de central. La incorporación del material reciclado es sencilla, pues basta con perforar el tambor en la zona más fría, procurando alejarlo de los gases más calientes del quemador.

Con este tipo de central se produjeron las primeras mezclas recicladas en España a partir de 1985. Más que por su eficacia como instalaciones de reciclado, este tipo de central ha dejado de instalarse desde 1990 por inconvenientes vinculados a la propia fabricación de mezclas convencionales. Los tambores de flujo paralelo obligan a trabajar con temperaturas de gases más elevadas, lo que dificulta el control de las emisiones y puede comprometer la calidad final de la mezcla.

3.2.2 Tambor - secador de quemador avanzado

Tratando de superar los inconvenientes mencionados, a finales de los años 80 se empezó a comercializar un nuevo tipo de central continua, con un tambor secador de contraflujo como los habitualmente empleados en las centrales discontinuas, en el que la cámara de mezcla se crea detrás del quemador, como puede verse en el esquema presentado en la Figura 7.

Con este tipo de tambor se solucionan los problemas vinculados a los tambores de flujo paralelo, aunque a costa

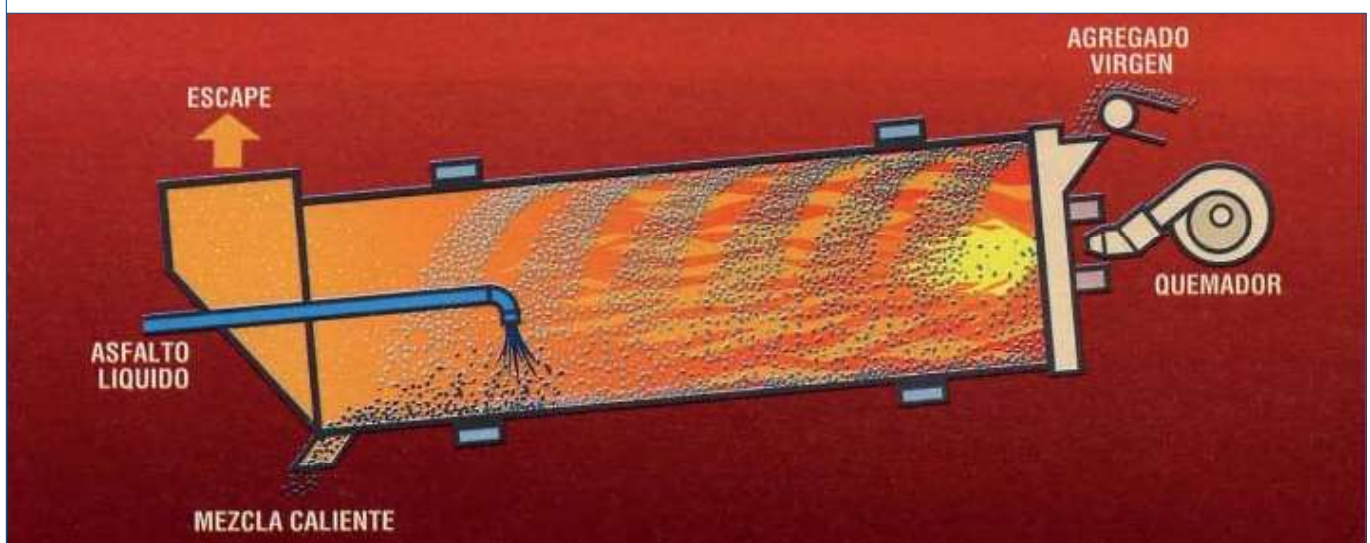


Figura 6. Esquema de central de tambor secador - mezclador de flujo paralelo

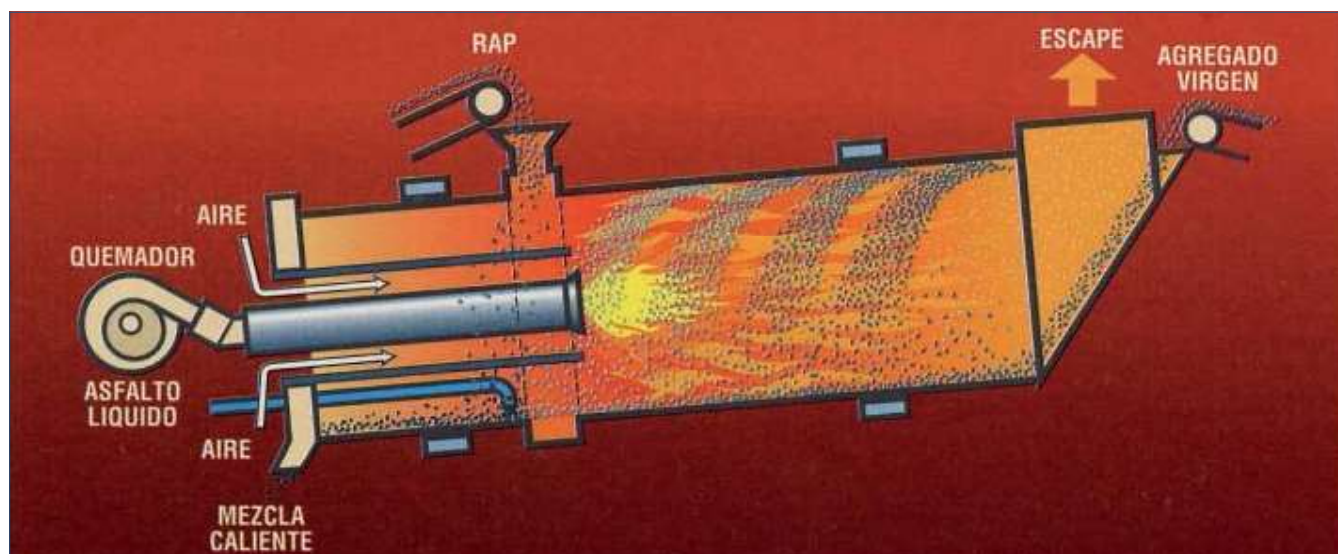


Figura 7. Esquema de tambor secador - mezclador de contraflujo con quemador central

de dificultar el acceso a un componente tan esencial como el quemador. El tiempo de mezclado es relativamente corto, por lo que la tasa de reciclado no sobrepasa el 40 %. Este tipo de central ha tenido poco éxito en España, donde se han instalado muy contadas unidades por razones no siempre técnicamente justificadas. En efecto, a partir de 1990 los pliegos de prescripciones técnicas particulares de los proyectos se redactan prohibiendo específicamente el uso de centrales de tambor secador - mezclador. La justificación de esta medida se basa, por un lado, en el mayor control de áridos y betún que, en teoría, hacen posible las centrales continuas y, por otro, en envejecimientos excesivos que se sospechan en el producto final. En años sucesivos los prejuicios mencionados se generalizan; y son cada vez más las administraciones o directores de obra que se niegan a admitir en sus obras las centrales de TSM de quemador avanzado. Se consuma así la práctica desaparición

de este tipo de central entre las nuevas incorporaciones al parque nacional que anteriormente se comentó.

3.2.3 Doble tambor

Existe un tercer tipo de tambor secador - mezclador. En esencia consiste en superponer a un tambor secador, en principio convencional, y en parte de su longitud, un segundo tambor concéntrico de mayor diámetro que permanece fijo. En la zona de superposición de los dos tambores el tambor exterior dispone de palas de mezclado externas, de modo que la cámara allí formada actúa como mezcladora de la central asfáltica.

El TSM tipo *double barrel* puede ser utilizado, además, como sistema de incorporación del material fresado para fabricar mezclas bituminosas con tasas de reciclado de hasta el 50 % en condiciones ambientales idóneas.

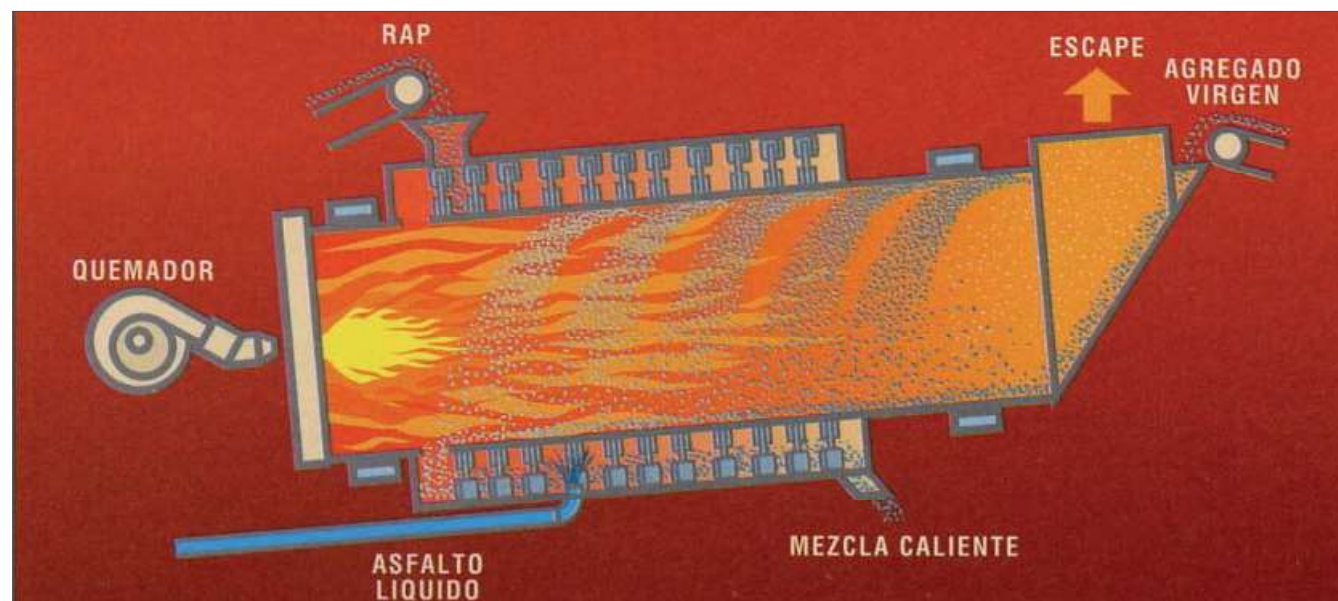


Figura 8. Esquema de tambor secador - mezclador *double barrel*

Los áridos entran en contracorriente, secándose y calentándose a la temperatura de empleo en el tambor central para, al final de su recorrido, caer al espacio formado entre los dos tambores iniciando el avance en sentido inverso. En esta cámara de mezcla se introducen el material fresado, el betún asfáltico y el polvo mineral de recuperación / aportación, obteniéndose a la salida la mezcla bituminosa terminada.

El calentamiento del material fresado se produce por radiación (flujo de calor desde las paredes interiores de la cámara de mezcla), por conducción (por contacto con los áridos en caliente) y por convección (transferencia desde la corriente de gases). Realmente cabe considerar la cámara de mezcla como un tambor independiente, a efectos de su analogía con los sistemas de reciclado que incorporan las dos instalaciones asfálticas anteriormente descritas, en el que la mezcla reciclada se introduce en un tambor sin llama de quemador y sin gases a temperaturas elevadas. Además, las fracciones volátiles producidas por el material fresado fluyen hacia el tambor interior, donde son quemadas y eliminadas en condiciones ambientales adecuadas.

4. Nuevas experiencias. Reciclado templado con emulsión a tasa total

Las instalaciones actualmente existentes no permiten, *a priori*, la fabricación en caliente de mezclas recicladas con una tasa total de reciclado. Para poder acudir a esta solución, con el objetivo de volver a colocar en la misma capa todo el RAP generado, no queda más remedio que utilizar técnicas de reciclado en frío con emulsión, que presentan la limitación derivada de tener que contar con un periodo de curado y de cierta debilidad de sus prestaciones mecánicas en los primeros momentos de su puesta en obra.

Por esta razón, en la mayor parte de las actuaciones de rehabilitación en las que se quiere reciclar el material existente se produce un excedente de material que no puede colocarse en la misma obra y que ha de almacenarse o transportarse a otros emplazamientos para poder utilizarse.

Por ello, en los últimos años ha ido cobrando cada vez más importancia la posibilidad de desarrollar una nueva solución que permita el empleo de altos porcentajes de RAP hasta alcanzar una tasa total, manteniendo un elevado nivel de prestaciones mecánicas y funcionales que permita su empleo en capas de reposición sin las limitaciones mencionadas inherentes a las técnicas en frío.

La irrupción en el mercado español de nuevas tecnologías enfocadas a la reducción de las temperaturas de fabricación y colocación de las mezclas bituminosas, ha creado un escenario adecuado para que este deseo se transforme en una realidad, a la vez que propician la reducción de emisiones, aumentan la eficiencia energética y mejoran las condiciones laborales de los operarios de esta industria [14].

Las mezclas templadas con emulsión bituminosa se fabrican con una temperatura en el entorno de los 90 °C,



Figura 9. Extendido de la mezcla templada reciclada en la experiencia realizada en la A-1 en el año 2012

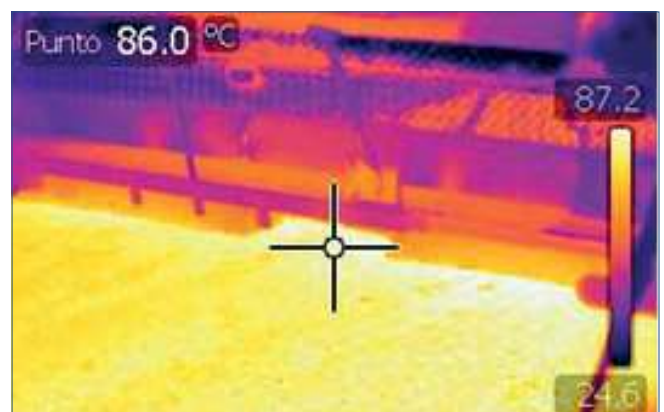


Figura 10. Termografía de la mezcla templada reciclada a salida de regla (Autovía A-1, año 2012)

un valor que no permitiría la utilización de material procedente del fresado si no se hubiesen resuelto una serie de problemas específicos, como son el calentamiento del material fresado y la pegajosidad de éste.

El primer problema es cómo calentar el material de fresado sin que se dañe o envejezca el ligante que contiene, y sin poder contar con la transferencia de calor que aportan los áridos vírgenes sobrecalentados, como en las técnicas que se han descrito anteriormente.

Para ello, la solución utilizada ha sido el empleo de un tambor calentador de flujo paralelo (el material avanza en el mismo sentido que los gases calientes) con cámara de combustión retrasada, en el que el calentamiento del RAP se hace por aire caliente (sin contacto ni proximidad a las llamas del quemador o zonas de alta temperatura) y en el que se recirculan parcialmente los gases del tambor secador, lo que reduce la presencia de oxígeno en contacto con el RAP y, por tanto, su envejecimiento, aumentando el rendimiento térmico y mejorando el funcionamiento del sistema.

El otro gran problema es la pegajosidad del RAP caliente, que se incrementa notablemente en el intervalo de temperaturas 80 – 110 °C, que exige un rediseño de los circuitos de almacenamiento y dosificación del RAP ya calentado hasta conseguir un funcionamiento adecuado.

Para alcanzar unos buenos resultados mecánicos y funcionales es básica la regularidad de la composición; para lo cual las instalaciones para este tipo de reciclado incorporan un proceso de clasificación previa del material de fresa-

do en dos fracciones (0-5 y 5/25 mm) y un control ponderal de su proporción en la mezcla.

Esta tipología de central es una adaptación, específicamente pensada para reciclados templados, desarrollada a partir del equipo de fabricación de mezclas recicladas en caliente de alta tasa, con tecnología discontinua, de dos tambores de secado y calentamiento, uno de ellos específico para calentamiento de material de fresado de mezclas bituminosas.

Para comprobar la viabilidad de la técnica, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento aprobó la realización de un tramo de prueba en una vía de servicio de la Autovía A-1 en Burgos, que se ejecutó en junio de 2012.

Se fabricó una mezcla reciclada templada con una tasa de reciclado del 80 %, en la que el RAP procedía en su totalidad del fresado de capas de rodadura y había sido clasificado en fracciones de 0/5 mm y 5/25 mm.

Esta mezcla se empleó como capa intermedia en un tramo de 1300 m de longitud, sobre la que se extendió posteriormente una rodadura con mezcla bituminosa convencional. Con una categoría de tráfico pesado T2 (intensidad media diaria de vehículos pesados comprendida entre 200 y 800) el comportamiento hasta la fecha ha sido muy satisfactorio [15].

5. Conclusiones

En España disponemos de instalaciones asfálticas modernas, de avanzada tecnología en su diseño, de ligantes, de normativa de aplicación y de la suficiente experiencia acumulada para que una obra de reciclado en central con altas tasas no suponga dificultades sensiblemente distintas de las de una obra de mezcla bituminosa en caliente convencional.

Las mezclas bituminosas recicladas en central en caliente se aproximan a las mezclas bituminosas convencionales en costes de fabricación y de control de calidad; sus costes de extendido son absolutamente comparables; y son mucho más económicas en términos ambientales y de consumo de materias primas. [9].

El empleo de tasas bajas de reciclado (< 15 %) se contempla en estos momentos como una práctica habitual en la fabricación de mezclas bituminosas convencionales que no hayan de estar expuestas a la acción directa del tráfico, abriendo la posibilidad a la utilización de materiales existentes en las carreteras que siguen manteniendo unas propiedades adecuadas para ello.

A nivel experimental, están surgiendo nuevas iniciativas, cuyo objetivo es el máximo aprovechamiento del material fresado generado en las actuaciones de fresado y reposición. Así, ha surgido en reciclado templado con emulsión a tasa total. Esta técnica, ha permitido el empleo de tasas de RAP del 100 % en mezclas recicladas, con re-

sultados óptimos; si bien se hace necesario un mayor desarrollo y experimentación para poder obtener resultados concluyentes.

6. Referencias

- [1] Ministerio de Fomento; Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes – PG3; Orden FOM/2523/2014 de 12 de diciembre; BOE 03/01/2015.
- [2] Ministerio de Fomento; Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de conservación de carreteras – PG4; Orden Circular 8/2001.
- [3] Ministerio de Fomento; Norma 6.3 IC – Rehabilitación de firmes; Orden FOM/3459/2003 de 28 de noviembre; BOE 12/12/2003.
- [4] Hunter, R.; Asphalts in road construction; Thomas Telford; London, 2000.
- [5] Mc Daniel, R. et al ; Recommended use of reclaimed asphalt pavement in the Superpave mix design method; NCHRP Web document 30. (Project D9-12): Contractor's final report; 2000.
- [6] Ortiz, J. y Felipo, J.; Recomendaciones para la producción en central de mezclas con altas tasas de reciclado; Revista Carreteras, nº 149; 2006.
- [7] Peinado, D. y Cebrián, M.; Sistema móvil de reciclado en planta en caliente; Revista Carreteras; número extraordinario mezclas bituminosas; octubre 2007.
- [8] Roberts, F. Kandhal et al ; Hot mix asphalt materials mixtures design and construction; NCAT, 1996.
- [9] París, A. Moncunill, C. y Ortiz J.; El análisis del ciclo de vida como herramienta para la valorización ambiental de la fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente; Revista Carreteras, nº 150, 2006.
- [10] García Santiago, J.L., Guisado Mateo, F.; Rehabilitación sostenible de pavimentos; 6º Congreso de Ingeniería Civil de Valencia, 2011.
- [11] García Santiago, J.L.; Reutilización y reciclado de materiales en la conservación de firmes; Jornada Técnica ACEX; Vitoria, 2011.
- [12] García Santiago, J.L. et al; Reciclado total de mezclas bituminosas a baja temperatura. Una propuesta para su diseño, caracterización y producción; Jornada Técnica Asefma; Madrid, 2011.
- [13] González Arias, J.; Refuerzo de firmes con mezclas bituminosas experimentales; Proyecto TRACC; Toulouse, 2011.
- [14] Soto, J.A., Colas, M. M., Lucas, F.J., Torres, S.; Mezclas bituminosas adaptadas al cambio climático; Valladolid, 2010.
- [15] García Santiago, J.L., Lucas, F.J., Barceló, F.J.; Reciclado total de mezcla bituminosa: aplicación, experiencias reales y resultados; XVII Congreso Ibero Americano del Asfalto; Guatemala 2013.