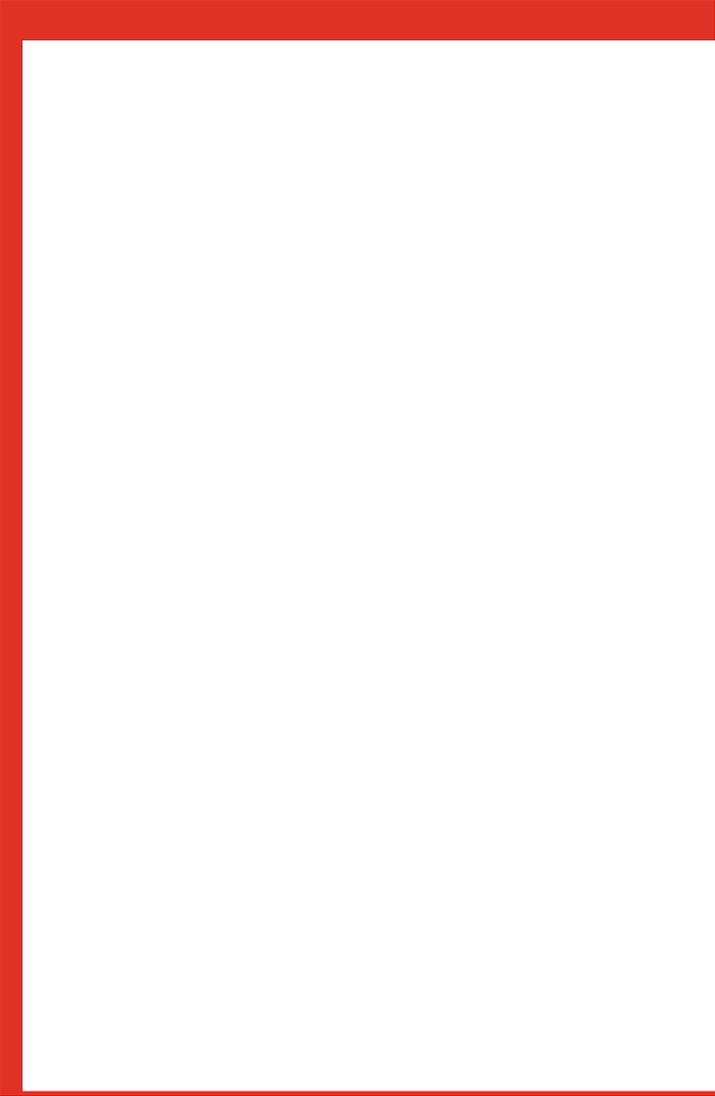




## Boletín técnico T-127S



# **FRESADO Y RECICLAJE**

por J. Don Brock, PhD., P.E.



ASTEC anima a sus ingenieros y ejecutivos a redactar artículos que sean de valor para los miembros de la industria de mezcla de asfalto caliente (HMA). La compañía también patrocina actividades de investigación independiente cuando lo estima apropiado y ha coordinado la redacción conjunta con empresas competidoras de la industria. La información se divulga a las partes interesadas a través de boletines técnicos. El propósito de los boletines técnicos es poner la información a disposición de la industria de HMA a fin de contribuir al proceso de mejoramiento continuo que beneficia a la industria.

---

# CONTENIDO

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>2</b>
<b>FRESADO .....</b>	<b>4</b>
<b>RECICLAJE .....</b>	<b>9</b>
AHORROS DEL RECICLAJE .....	9
ADQUISICION Y PREPARACION DEL RAP (PAVIMENTO ASFALTICO RECUPERADO) .....	11
DISEÑO DE LA MEZCLA .....	15
<b>EQUIPO PARA RECICLAJE.....</b>	<b>15</b>
PLANTAS DOSIFICADORAS .....	16
PLANTAS MEZCLADORAS DE TAMBOR .....	20
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>23</b>

25,4 mm	COSTO/HORA	US\$315,00
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	1045
	PRODUCCION (t/h)	63,5
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,30
50,8 mm	COSTO/HORA	US\$320,00
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	727
	PRODUCCION (t/h)	99,20
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,44
76,2 mm	COSTO/HORA	US\$345,00
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	585
	PRODUCCION (t/h)	100
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,59
101,6 mm	COSTO/HORA	US\$390,00
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	502
	PRODUCCION (t/h)	113
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,78
Basado en el uso de una máquina fresadora de medio carril BG RX-40 ó CMI PR 450 (modelo de los años 70) funcionando 750 horas/año.		

## COSTO DE FRESADO DE MEDIO CARRIL A PRINCIPIOS DE LA DECADA DE LOS 70

Figura 1



Figura 2

		ALTO*	BAJO**
25,4 mm	COSTO/HORA	US\$244,00	US\$182,00
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	1566	2090
	PRODUCCION (t/h)	90,7	118
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,16	US\$ 0,09
50,8 mm	COSTO/HORA	US\$250,00	US\$195,00
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	1129	1421
	PRODUCCION (t/h)	127	163
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,22	US\$ 0,14
76,2 mm	COSTO/HORA	US\$260,00	US\$225,00
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	1066	1338
	PRODUCCION (t/h)	181	227
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,24	US\$ 0,17
101,6 mm	COSTO/HORA	US\$300,00	US\$250,00
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	1087	1296
	PRODUCCION (t/h)	254	295
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,28	US\$ 0,19
Basado en el uso de una máquina fresadora de medio carril Roadtec RX-60 funcionando 750 horas/año.			
* Mano de obra de alto costo y agregado abrasivo (granito)			
** Mano de obra de bajo costo y agregado suave (piedra caliza)			

## COSTO ACTUAL DE FRESADO DE MEDIO CARRIL

Figura 3

## INTRODUCCION

Las máquinas fresadoras de pavimentos asfálticos pequeñas se introdujeron por primera vez alrededor de 1970. Su desarrollo se había extendido con rapidez para mediados de la década de los años 70. Las máquinas originales tenían anchos de corte muy estrechos. Sin embargo, para 1976 las máquinas podían cortar un carril completo de 4 metros de ancho. Las primeras máquinas necesitaban mucho mantenimiento y eran poco fiables. Los dientes de corte costaban de US\$3,00 a US\$5,00† cada uno y duraban poco. Ahora cuestan mucho menos y duran más.

Desde la década de 1970, las fresadoras han crecido en tamaño y potencia. Ahora son muy simples, confiables y de alta capacidad. El desarrollo de los dientes de corte ha también avanzado de modo significativo. Hoy día el costo medio de un diente de corte es de US\$2,00 y su duración equivale a la de tres dientes de los modelos anteriores más caros. La vida útil más prolongada de los dientes reduce de modo significativo el trabajo necesario para reemplazarlos. Y la potencia más alta aumenta la velocidad de producción y reduce los costos de modo significativo.

La **Figura 1** muestra el costo típico de fresado a finales de los años 70 y al principio de los 80

† Todos los costos se indican en Dólares EE.UU.

para una fresadora de medio carril con un motor de 450 HP. La **Figura 2** ilustra una máquina típica de esa época. La **Figura 3** muestra el costo de fresado anticipado con una máquina de medio carril de alta capacidad disponible hoy día. La **Figura 4** muestra una máquina típica de la actualidad.

Las fresadoras de carril completo pueden reducir los costos aun más. La **Figura 5** muestra el costo de operación de una máquina típica de carril completo con motor de 700 HP. La fresadora de carril completo ofrece grandes ahorros en comparación con una máquina de medio carril porque no es necesario retroceder y hacer una segunda pasada. Así, ahorra una hora completa por cada hora que trabaja. La **Figura 6** muestra una máquina típica. Como puede verse a partir de estas comparaciones de costos, el costo del fresado es hoy considerablemente menor de lo que era hace unos 10 a 12 años.

Muchos contratistas y agencias gubernamentales no están conscientes de las reducciones de costo logradas en años recientes. Por consiguiente, no utilizan las máquinas de modo tan efectivo como pudieran. Las descripciones siguientes explican las muchas ventajas del fresado tanto para las agencias gubernamentales como para los conductores.



**Figura 4**

		ALTO*	BAJO**
25,4 mm	COSTO/HORA	US\$388,00	US\$337,00
	m/min	22,9	26
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	4354	4932
	PRODUCCION (t/h)	260	295
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,09	US\$ 0,07
	COSTO/t	US\$ 1,49	US\$ 1,14
50,8 mm	COSTO/HORA	US\$388,00	US\$337,00
	m/min	12,2	15
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	2322	2903
	PRODUCCION (t/h)	278	347
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,17	US\$ 0,12
	COSTO/t	US\$ 1,40	US\$ 0,97
76,2 mm	COSTO/HORA	US\$388,00	US\$337,00
	m/min	8,5	11
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	1625	2032
	PRODUCCION (t/h)	291	364
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,24	US\$ 0,17
	COSTO/t	US\$ 1,33	US\$ 0,93
101,6 mm	COSTO/HORA	US\$388,00	US\$337,00
	m/min	7,6	9,1
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	1451	1741
	PRODUCCION (t/h)	347	416
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,27	US\$ 0,19
	COSTO/t	US\$ 1,12	US\$ 0,81

Basado en el uso de una máquina fresadora de carril completo Roadtec RX-70 funcionando 750 horas/año.  
 \* Mano de obra de alto costo y agregado abrasivo (granito)  
 \*\* Mano de obra de bajo costo y agregado suave (piedra caliza)

**COSTO ACTUAL DE FRESADO DE CARRIL COMPLETO**

**Figura 5**



**Figura 6**



Figura 7



Figura 8



Figura 9

Al considerar el menor costo de operación de las máquinas y el costo menor de los dientes, el fresado debería constituirse en el método estándar para la construcción de carreteras de la actualidad.

## FRESADO

El fresado (también denominado perfilado en frío) ofrece muchas ventajas para el ingeniero de carreteras. Veinte años atrás, las carreteras se diseñaban para un tránsito menor y para vehículos más livianos que los hallados hoy en día. En consecuencia, muchas carreteras sufren deformaciones y fallas prematuras. El restablecimiento de una superficie uniforme es esencial si se han de reparar apropiadamente estas carreteras. Las agencias responsables de preparar pliegos de especificaciones siempre deben exigir que la colada antigua sea completamente quitada al hacer trabajos de reparación. De este modo se proporciona una superficie uniforme para la colocación del pavimento nuevo.

La **Figura 7** muestra una autopista interestatal típica llena de rodadas. La **Figura 8** ilustra una formación de rodadas profundas. Si se repavimentan estos caminos como se muestra en la **Figura 9**, se colocará una cantidad insuficiente de mezcla en la zona de rodadas, produciendo una baja densidad en estas zo-

nas. Si se fresa la carretera hasta obtener una superficie plana, se genera material de reciclaje, se eliminan las rodadas y el nuevo pavimento tendrá una densidad uniforme a todo el ancho del carril como se muestra en la **Figura 10**.

El fresado puede restablecer el peralte y la pendiente correctos de la carretera y eliminar puntos altos y rodadas. Muchas veces, el fresado puede reducir o hasta eliminar las agrietaciones por reflexión. Se puede lograr un mejor enrasamiento con el fresado que aplicando una capa niveladora de asfalto. Además, se logran ahorros considerables. Desafortunadamente, la mayoría de las especificaciones de fresado exigen una profundidad de fresado específica, lo cual no asegura que se obtendrá una superficie completamente plana. Al nivelar con una fresadora, se debe usar un patín de longitud apropiada para obtener la misma uniformidad de superficie que aquella lograda con una máquina pavimentadora, como se muestra en la **Figura 11**. Se debe usar un patín de 12,1 m para enrasar.

Una fresadora crea una superficie estriada y áspera como se muestra en la **Figura 12**. Y crea una superficie más grande que la que existía antes del fresado. Así, una superficie recientemente fresada se entrelaza y une extremadamente bien con la nueva superficie de asfalto que se aplica.



Figura 10

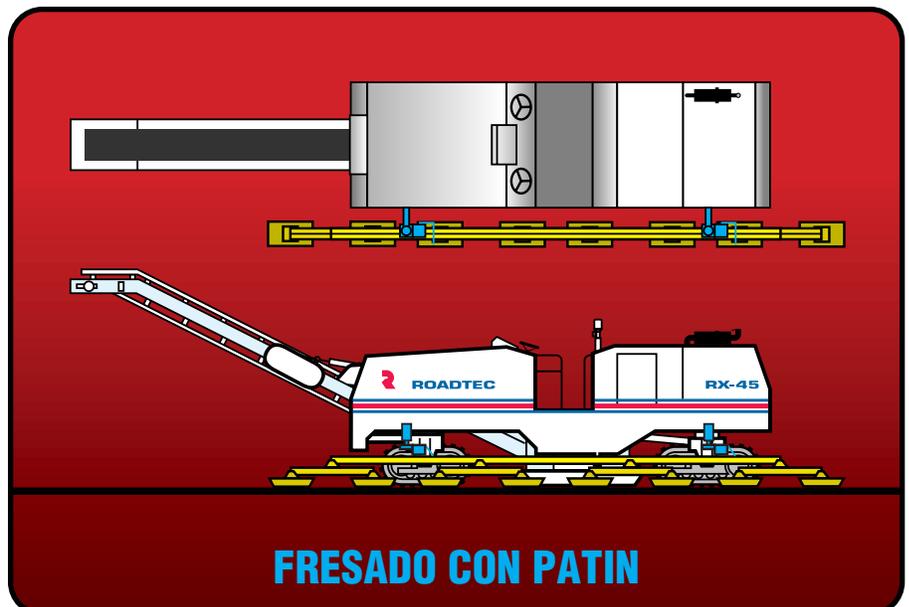


Figura 11

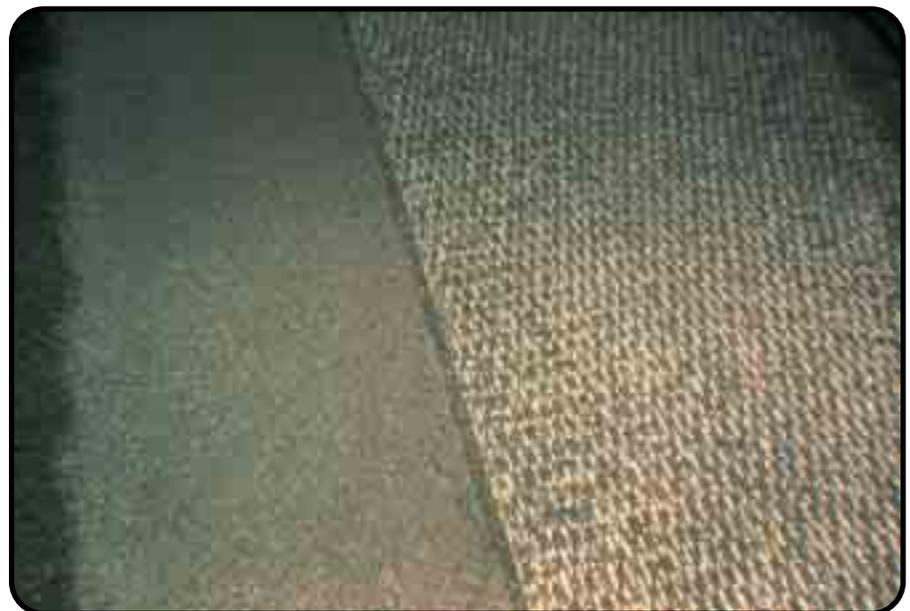
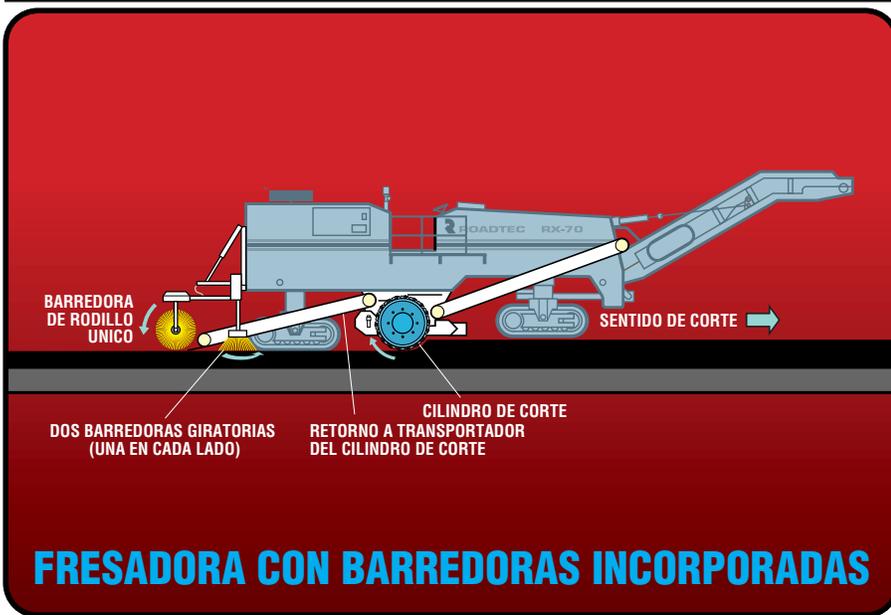


Figura 12



## FRESADORA CON BARREDORAS INCORPORADAS

Figura 13



## PAVIMENTACION CON FRESADORA Y PAVIMENTADORA

Figura 14



## EL FRESADO ELIMINA LOS ACOTAMIENTOS DESNIVELADOS

Figura 15

En la actualidad, se puede fresar la superficie de una carretera (incluso una carretera secundaria) con un costo aproximadamente igual o menor que el de aplicar una capa ligante. Con una fresadora-cargadora frontal, se recoge automáticamente el material derramado por el transportador. Al utilizar un sistema de barredora integral (como se muestra en la **Figura 13**) la mayor parte de los trozos grandes de material fresado se recogen y se cargan automáticamente al cilindro de corte para colocarlos de nuevo sobre el sistema transportador. El material fino que permanece en la carretera se derretirá casi instantáneamente al aplicar una nueva capa de mezcla caliente. De este modo, las partículas finas se convierten en una capa ligante. Más aun, las zonas fresadas dan una superficie entrelazada mucho más fuerte que la de una capa ligante.

Al utilizar este procedimiento de limpieza con una fresadora de carril completo, se pueden fresar secciones enteras de la carretera, repavimentándolas inmediatamente detrás de la fresadora. Una máquina pavimentadora puede trabajar a unos 45 a 60 metros detrás de la fresadora, dejando suficiente espacio para acarrear mezcla caliente a la pavimentadora. Por su parte, los camiones de mezcla caliente pueden acarrear el material fresado a la planta para reciclarlo.

Con este procedimiento, no se permite en ningún momento la circulación de tránsito sobre la superficie fresada. Típicamente, la fresadora y la pavimentadora ocupan únicamente una sección de 45 metros de la carretera, y las máquinas compactadoras de la nueva superficie ocupan un espacio de menos de 600 metros. Por lo tanto, se logra una desviación mínima del tránsito.

Debido a que esta técnica es un tanto nueva, sus beneficios no son ampliamente conocidos. Pero los ahorros logrados al recuperar y reutilizar los materiales, más la reducción de demoras para los automovilistas, deberían convertir esta técnica en el método estándar de la industria. (Figura 14)

Se ganan otras ventajas muy importantes con el fresado y repavimentado al efectuar trabajos en autopistas. No se necesita elevar los acotamientos, porque la elevación de la carretera permanece igual (Figura 15). No es necesario elevar las barreras (véase la Figura 16). Y el gálibo de los puentes permanece igual, obviando la necesidad de reemplazar los avisos de altura libre. (Figuras 17 y 18) Además, al fresar la superficie de un puente, su capacidad de carga permanece igual, haciendo innecesario el mejorar su estructura o reducir sus límites de peso. (Figura 19)



Figura 16



Figura 17



Figura 18



Figura 19



Figura 20



Figura 21

El fresado es probablemente más beneficioso en las ciudades que en cualquier otro sitio. La mayor parte de ciudades ha recubierto sus calles tantas veces que su desagüe es inadecuado. Las sobrecapas de las calles frecuentemente llegan hasta el nivel de la guarnición y de la cuneta (**Figura 20**) o tienen lomo como se muestra en la **Figura 21**. Al fresar la calle de vuelta a su perfil original y bajar su elevación a la superficie inicial, se restablece el desagüe correcto y se mejora la seguridad de los conductores. Las cunetas recobran su capacidad de descargar el volumen del agua para el cual se diseñaron originalmente.

Al repavimentar una calle urbana, no es raro que el costo de elevar los registros de servicios públicos (**Figura 22**) exceda el costo de la pavimentación. Si se fresan 40 mm de la superficie y se aplica una capa nueva de 40 mm, se puede reparar y mejorar la calle sin alterar la elevación de los registros. Esto ofrece ahorros significativos, a la vez que genera material de reciclaje que puede añadirse a la mezcla nueva usada para pavimentar la calle.

Más y más contratistas de pavimentación con asfalto ahora utilizan máquinas fresadoras. Las utilizan no sólo para el fresado arriba descrito, sino como niveladoras finas, excavadoras y trituradoras de material reciclable. Los controles precisos de granulometría de la fresadora la convierten en una exce-

lente fresadora fina. Y ya que también excava y carga materiales, hace el trabajo antes realizado por dos o tres máquinas distintas.

## RECICLAJE

### Ahorros logrados con el reciclaje

Además de todas las ventajas obtenidas al fresar y perfilar las calles tanto en trabajos urbanos como en carretera, se generan cantidades grandes de material reciclable. (El material reciclable comúnmente se denomina RAP, que significa pavimento asfáltico recuperado por sus siglas en inglés.) Muchos contratistas no se dan cuenta de los ahorros que podrían lograr al usar RAP. Por consiguiente, no siempre lo usan a su mayor provecho.

El RAP básicamente vale lo mismo que el material que reemplaza. Puede reemplazar una parte del agregado virgen y del asfalto líquido en una mezcla nueva. El costo medio de agregados en los Estados Unidos en la actualidad es de US\$5 por tonelada, pero oscila entre US\$2 y US\$13 por tonelada. En los últimos diez años, el costo del asfalto líquido ha oscilado de US\$50 a US\$200 por tonelada. La **Figura 23** muestra el costo de los materiales en una mezcla superficial con agregados a US\$5 por tonelada y con asfalto líquido a US\$120,00 por tonelada.



Figura 22

Costo del agregado - US\$5,00/t x 0,94 =	US\$4,70
Costo del asfalto - US\$120,00/t x 0,06 =	7,20
<b>TOTAL</b>	<b>US\$11,90</b>

Basado en agregado de US\$5,00 y asfalto de US\$120,00

### COSTO DEL MATERIAL VIRGEN

Figura 23

		ALTO*	BAJO*
25,4 mm	COSTO/HORA	US\$387,00	US\$235,00
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	1254	1672
	PRODUCCION (t/h)	73	94
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,31	US\$ 0,14
50,8 mm	COSTO/HORA	US\$395,00	US\$245,00
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	878	1137
	PRODUCCION (t/h)	100	129
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,45	US\$ 0,22
76,2 mm	COSTO/HORA	US\$420,00	US\$300,00
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	752	1003
	PRODUCCION (t/h)	128	168
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,56	US\$ 0,30
101,6 mm	COSTO/HORA	US\$450,00	US\$340,00
	PRODUCCION (m <sup>2</sup> /h)	669	836
	PRODUCCION (t/h)	152	190
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,67	US\$ 0,41
	COSTO/t	US\$ 2,96	US\$ 1,79

### COSTO DE MATERIAL FRESADO – TRABAJOS URBANOS

Figura 24

Costo del agregado - US\$5,00/t x 0,94	=	US\$4,70
Costo del asfalto - US\$120,00/t x 0,06	=	7,20
<b>COSTO TOTAL DEL MATERIAL VIRGEN</b>	=	<b>US\$11,90</b>
Costo del RAP	=	US\$3,70
<small>(Basado en un costo de US\$2,20/t, acarreo y US\$1,70 de costo de fresado)</small>		
Ahorros/t de RAP	=	US\$8,20
Ahorros/t de mezcla al...		
10%	=	US\$ 0,82
20%	=	1,64
30%	=	2,46
40%	=	3,28
50%	=	4,10

### AHORROS CON EL USO DE RAP

Figura 25



Figura 26

Al usar una máquina fresadora de medio carril (**Figura 3**) para trabajos urbanos (**Figura 24**), los costos de la máquina y de mano de obra del RAP pueden ser de unos US\$3,00 por tonelada. Si cuesta US\$2,00 por tonelada para acarrearlo a la planta de mezcla de asfalto, el costo aumenta a US\$5,00 por tonelada. Pero si se le está pagando al contratista por fresar y acarrear el material, se reduce considerablemente su costo neto. Por ejemplo, si el contratista recibe US\$3,00 por tonelada de material fresado, su costo neto se reduce a únicamente US\$2,00 por tonelada (el costo de acarreo en camión).

En trabajos en carretera, se pueden lograr velocidades de producción más altas porque no es necesario mover vehículos estacionados, hay menos obstrucciones, etc. Así, el contratista puede reducir su costo de modo significativo, como se demuestra comparando la **Figura 3** con la **Figura 24**. Al hacer trabajos en carretera sin recibir pago por el fresado, la diferencia entre el costo del material virgen y del RAP es de US\$8,10 por tonelada, como se muestra en la **Figura 25**.

Se ahorran los US\$8,10 por tonelada de RAP, sin importar la velocidad a la cual se recicle el RAP. Las mezclas que usan 10 por ciento de RAP sencillamente lo usan más lentamente que las mezclas que usan 50 por ciento de RAP. Como se explicará más adelante, la mezcla es menos sensible cuando se usan porcentajes más bajos de RAP que con porcentajes más altos. Por tanto, existen ventajas en mantener el porcentaje bajo. Siempre y cuando se utilice todo el RAP disponible, se logrará el ahorro representado por su valor.

---

El añadir 10 por ciento de RAP en una mezcla nueva ahorra 81 centavos por cada tonelada de mezcla nueva. Pero, para usar una tonelada de RAP, éste se añade a 10 toneladas de mezcla, todavía logrando un ahorro total de US\$8,10 por cada tonelada de material fresado usado.

El uso de 50 por ciento de RAP en una mezcla nueva ahorra US\$4,05 por cada tonelada de mezcla nueva, todavía ahorrando US\$8,10 por tonelada de material fresado. Pero el RAP ahora se combina con sólo dos toneladas de mezcla.

## Adquisición y preparación del RAP

Se consigue el RAP de los trabajos de fresado o de perfilado en frío como se describió arriba. También puede conseguirse de varias otras fuentes. Las compañías de servicios públicos continuamente hacen cortes y desechan material reciclable valioso. Este material a menudo se encuentra en trozos grandes que requieren ser triturados y procesados.

Para utilizar RAP apropiadamente, es mejor manejarlo como si fuera agregado virgen. Al usarlo en cantidades grandes, se lo debe separar en al menos dos tamaños diferentes para controlar apropiadamente la granulometría.

Cuando exista la oportunidad, los contratistas que poseen fresadoras a menudo salen a fresar pavimentos para obtener material reciclable. Esto es más barato que romper y triturar pavimento, porque el material fresado normalmente no requiere trituración.

Se muestra una trituradora de etapa única típica en la **Figura 26**. Esta es una unidad trituradora de impacto. Está equipada con una criba que produce dos grados de RAP diferentes.

Cuando se usa una trituradora de etapa única, es difícil triturar el material a un espesor de 13 mm. El alimentar trozos grandes del material requiere el uso de una trituradora muy grande. Las proporciones de reducción de 7 a 1 en las trituradoras de mandíbulas y de 15 a 1 en trituradoras de impacto son factibles. Es difícil obtener productos con un tamaño de menos 50 mm usando un impactor de eje horizontal o un impactor de dientes flexibles. Al producir dos tamaños de producto, se puede ajustar la trituradora para un producto de 50 mm y cribarlo, generando un producto de 50 mm a 13 mm y otro producto de 13 mm o más pequeño.

Con una trituradora de dos etapas, se puede generar un producto de 13 mm económicamente. Se hace esto ajustando la trituradora principal para un tamaño de producto de 75 a 100 mm, y después pasando el material de más de 13 mm a través de una trituradora de conos, como se muestra en la **Figura 27**.

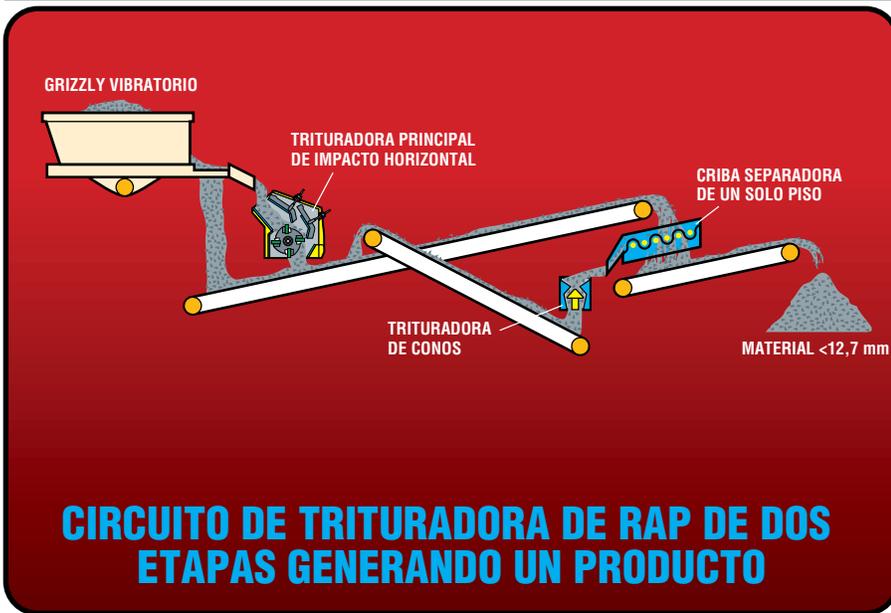


Figura 27

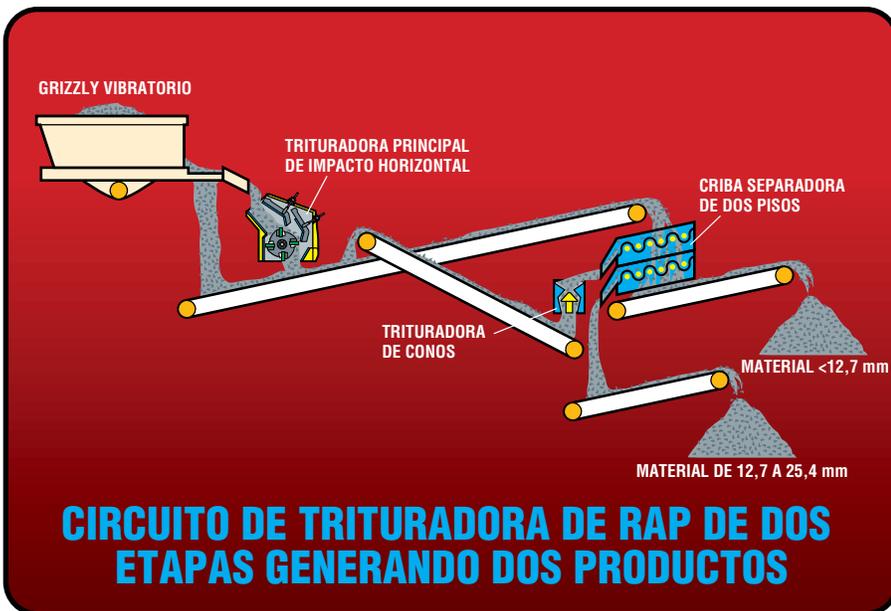


Figura 28



Figura 29

Se utilizan un grizzly y una trituradora principal de impacto como primera etapa. En la segunda etapa se usan una criba de uno o dos pisos y una trituradora de conos. El material que pasa a través del grizzly vibratorio se desvía de la trituradora de impacto y es transportado a la criba. El material que pasa a través de la criba es separado en dos tamaños. El material rechazado por la criba superior pasa por la trituradora de conos y es transportado a las cribas, en donde es clasificado nuevamente. La **Figura 28** muestra un diagrama del circuito típico de una unidad trituradora de dos etapas que fabrica dos productos.

Los pedazos grandes podrían bloquear la entrada de una trituradora de impacto, creando un problema significativo. Si se apaga la máquina y el pedazo cae dentro de ésta, no será posible volver a arrancar la trituradora. Y mientras la trituradora esté funcionando, no es seguro retirar el trozo atascado de la misma. Por tanto, es necesario reducir el material a un tamaño apropiado para evitar introducir trozos de sobretamaño en la trituradora. Pero el hacer esto típicamente resulta en una producción baja, porque es necesario romper los trozos grandes con las cargadoras, las topadoras u otros métodos que son lentos y costosos.

Una alternativa es el usar una trituradora principal de impacto extremadamente grande. Pero esto es costoso y una máquina de esta categoría es normalmente capaz de una producción mucho más alta que la necesaria. Sin embargo, esta opción deberá mantenerse en cuenta si se utiliza una trituradora para RAP, puesto que el RAP podría incluir trozos grandes de forma irregular.

Las trituradoras más útiles son las trituradoras de impacto debido a su capacidad de reducción más alta. Se muestra una sección de una trituradora de impacto típica de barra fija en la **Figura 29**. Se muestra un tipo de diente flexible alternativo en la **Figura 30**. Estas trituradoras pueden utilizarse como máquinas sencillas para reducir el material a 50 ó 75 mm. Pero cuando se tritura el material a 20 mm ó 13 mm, se aumenta su desgaste de modo significativo.

No se utilizan a menudo las trituradoras de mandíbulas y las trituradoras de conos para RAP porque suelen empaclar el material. Sin embargo, se puede usar una trituradora de conos además de una trituradora de impacto de eje horizontal como se muestra en las **Figuras 27 y 28**.

Con esta disposición, la trituradora de impacto sirve de trituradora principal, reduciendo el material a un tamaño de 40 a 50 mm. Al cribar el material, las partículas pegajosas finas son desviadas de la trituradora de conos. El material más grande, que normalmente no tiene suficiente asfalto para causar el empaclado, se dirige a la trituradora de conos. Más aun, la trituradora de conos puede reducir también el tamaño del agregado virgen de sobretamaño que normalmente se mezcla con el RAP. Este proceso, mostrado en la **Figura 28**, produce un material de 13 mm y más pequeño que puede ser usado en todos los tipos de mezcla.



## IMPACTOR DE EJE HORIZONTAL

Figura 30



## FRESADO EN MONTON DE RAP

Figura 31



Figura 32

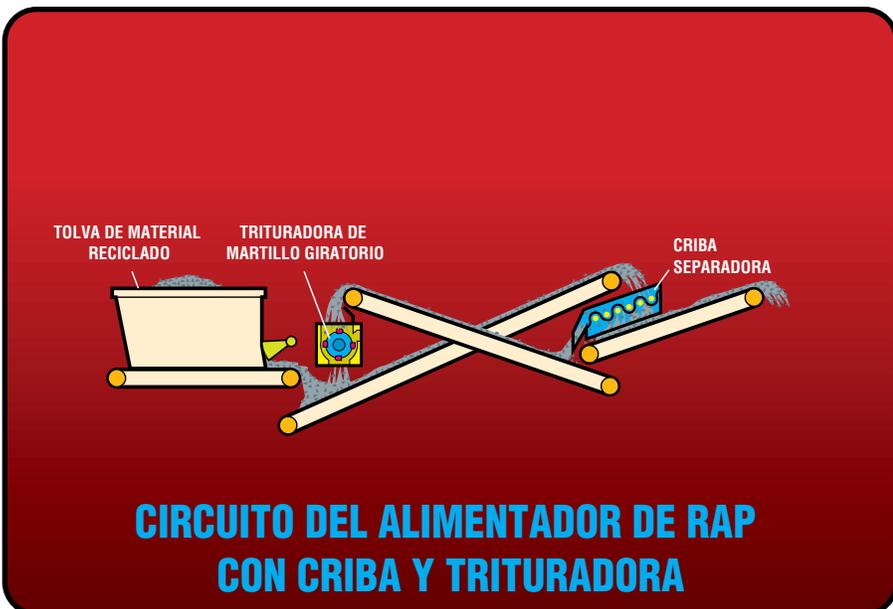


Figura 33



Figura 34

Cuando se usa una fresadora para extraer pavimento asfáltico como se describió anteriormente, el tamaño de los materiales fresados oscila de 50 a 100 mm. Por lo tanto, una fresadora funciona bien no sólo para el perfilado en frío, sino también como una máquina que podría reemplazar a la trituradora principal.

La **Figura 31** muestra un método alternativo de triturado, utilizando una fresadora en un almacenamiento de material. Una máquina fresadora de medio carril sirve de trituradora principal de 2,13 m de ancho que reduce el material a trozos de 100 mm o más pequeños. Con este método, se puede usar una trituradora secundaria más pequeña en la planta de asfalto como se muestra en las **Figuras 32 y 33**.

La trituradora pequeña permite alimentar el material a través de una tolva convencional para RAP en la planta de asfalto. El material se transporta después a una criba que separa el material de sobretamaño, el cual se alimenta a una trituradora de impacto de martillo giratorio. La trituradora de martillo giratorio reduce el material a un tamaño de 13 mm o más pequeño y lo devuelve al transportador que lo lleva nuevamente a la criba.

La trituradora puede procesar trozos con un tamaño máximo de hasta 150 mm. Por consiguiente, el 100 por ciento del material fresado va a la planta y prácticamente no se genera

---

desperdicio. De este modo, la fresadora se utiliza más completamente y se reduce la complejidad total del sistema comparado con uno que utiliza una trituradora de una o dos etapas.

Cuando se usa RAP triturado apilado, se puede usar una trituradora similar a la mostrada en la **Figura 34** para romper los trozos. Sin embargo, estas máquinas son trituradoras de servicio liviano, únicamente capaces de romper los pedazos. Estas no evitan que se envíe material de sobretamaño al mezclador. Eso se debe a que en realidad no trituraron pedazos de material fresado duro o piedras como la trituradora mostrada en la **Figura 32**.

## Diseño de la mezcla

Cuando se usa de modo apropiado, la introducción de RAP en una mezcla nueva puede producir una mezcla de calidad igual o superior que una obtenida con sólo materiales vírgenes. Como se mencionó anteriormente, el RAP debe manejarse como cualquier otro material virgen. Se desarrollan cursos especiales de diseño de la mezcla para la mezcla con RAP en las instalaciones de la National Asphalt Pavement Association y de Chicago Testing Laboratories.

A menudo, los productores desean usar cantidades grandes de RAP prestando poca atención al diseño de la mezcla. El análisis de la economía arriba mencionada demuestra que no importa realmente el porcentaje de RAP que se añada a la mezcla, siempre y cuando se use todo el RAP disponible. Si un propietario de planta usa 20.000 toneladas de RAP por año preparando 100.000 toneladas de mezcla, experimentará menos problemas si añade 20 por ciento de RAP en toda la mezcla, en lugar de añadir 50 por ciento de RAP en 40.000 toneladas de mezcla y ningún RAP en 60.000 toneladas de mezcla. Sus ahorros totales serán exactamente iguales.

La sensibilidad del diseño de la mezcla se hace mucho más grande conforme aumenta el porcentaje de RAP añadido. Típicamente, los reglamentos requieren el uso de líquidos vírgenes más suaves cuando la proporción de RAP exceda el 29 ó 30 por ciento. El uso de líquidos más suaves afecta a menudo la calidad de los líquidos y causa problemas de emisión cuando se usan mezcladores de tambor de flujo paralelo. (Véase el boletín técnico de Astec T-116)

## EQUIPO PARA RECICLAJE

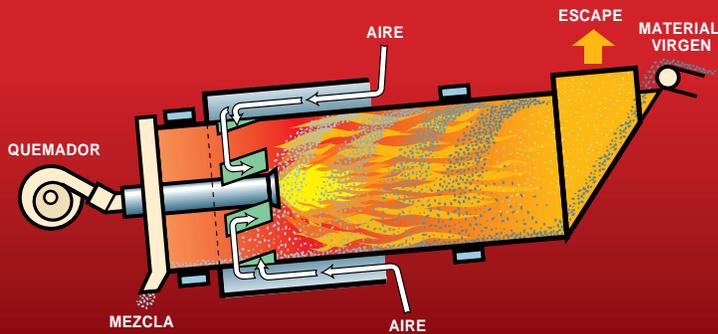
Las plantas de bachas y las plantas mezcladoras continuas de tambor pueden preparar mezclas de alta calidad usando RAP. Sin embargo, los operadores deben tomar ciertas precauciones y evitar problemas relacionados con el uso de RAP. Los párrafos siguientes describen estos temas.

	% de contenido de humedad en material recuperado	Temperatura de descarga de mezcla reciclada, °C			
		116° C	127° C	138° C	149° C
RELACION: 10% RAP 90% AGREG	0	132	144	156	168
	1	134	147	159	171
	2	137	149	162	174
	3	140	152	164	177
	4	143	155	167	179
	5	146	158	170	182
RELACION: 20% RAP 80% AGREG	0	144	158	172	186
	1	151	164	178	192
	2	157	171	184	198
	3	163	177	191	204
	4	169	183	197	211
	5	175	189	203	217
RELACION: 30% RAP 70% AGREG	0	162	178	166	209
	1	173	188	315	219
	2	183	199	214	230
	3	194	209	225	241
	4	204	221	236	251
	5	215	231	246	262
RELACION: 40% RAP 60% AGREG	0	186	203	221	239
	1	218	219	237	256
	2	234	235	253	272
	3	250	251	269	288
	4	267	267	286	304
	5	282	283	302	320
RELACION: 50% RAP 50% AGREG	0	216	238	260	282
	1	240	262	284	309
	2	264	287	309	331
	3	289	311	333	356
	4	313	336	358	380
	5	338	360	382	404

Suponer una pérdida de 5° C entre la secadora y la amasadora; temperatura del aire exterior: 21° C.

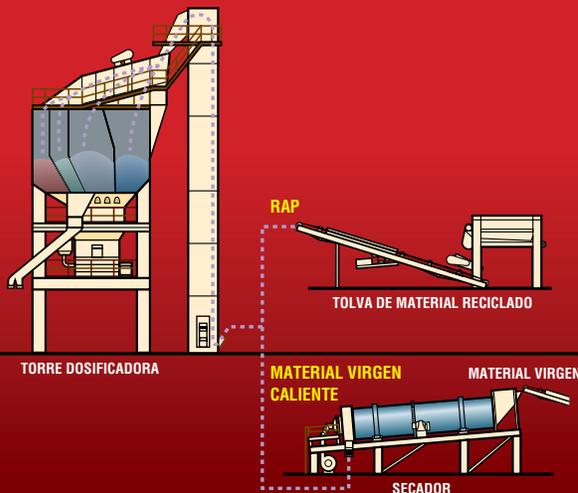
## TEMPERATURAS REQUERIDAS DEL AGREGADO

Figura 35



## SECADOR DE CONTRAFLUJO ENFRIADO POR AIRE

Figura 36



## INGRESO DE RAP EN ELEVADOR CALIENTE DE PLANTA DOSIFICADORA

Figura 37

## Plantas dosificadoras

Hay cinco métodos para usar RAP en una planta dosificadora. En todos estos métodos, es necesario sobrecalentar el agregado virgen. El agregado virgen sobrecalentado calienta el RAP. La **Figura 35** muestra la temperatura a la cual el material virgen necesita ser calentado para poder calentar y secar el RAP. Como se muestra en la tabla, una mayor humedad en el RAP y un porcentaje más alto de RAP requieren temperaturas proporcionalmente más altas en el agregado virgen. Y, a menos que el RAP esté extremadamente seco, no pueden usarse proporciones de RAP en exceso del 40 por ciento.

El sobrecalentar los agregados vírgenes a temperaturas extremadamente altas hace que el acero del secador se caliente mucho más que lo normal. Esto podría dañar el tambor. La **Figura 36** muestra un secador enfriado por aire. Permite el sobrecalentamiento del agregado virgen a temperaturas más altas sin dañar el tambor. Pero el uso de un secador de esta categoría sólo permite el uso de proporciones ligeramente mayores de RAP.

**Método 1.** Se introduce RAP frío en la funda del elevador caliente junto con el agregado virgen sobrecalentado como se muestra en la **Figura 37**. Juntos, se clasifican y se almacenan en tolvas calientes. A medida que el agua se evapora del RAP, genera vapor, el cual es continuamente extraído por el sistema recolector existente en la torre dosificadora.

Este método no causa problemas de emisión. Sin embargo, únicamente deben usarse proporciones bajas de RAP a menos que la tela de la criba en la plataforma inferior exceda de 5 a 6 mm. El uso de porcentajes más altos con menos de 5 mm de tela produce una composición pegajosa que a menudo obstruye o “ciega” la criba.

**Método 2.** La torre dosificadora debe tener una quinta tolva caliente como se muestra en la **Figura 38**. El RAP frío y preclasificado se puede introducir en la funda del elevador caliente junto con el agregado sobrecalentado preclasificado. El elevador entrega el material mezclado directamente a la quinta tolva, desviándolo de las cribas de la torre. Este método da resultados óptimos y permite usar hasta 40 por ciento de RAP. Permite pasar de mezclas con RAP a mezclas de materiales vírgenes sin vaciar las tolvas calientes porque no se sobrecalientan los materiales en las tolvas calientes.

**Método 3.** Se entrega el RAP frío preclasificado directamente a la tolva de pesaje de la torre dosificadora junto con el agregado virgen sobrecalentado de la tolva caliente como se muestra en la **Figura 39**. El RAP proviene de la tolva para RAP que tiene ya sea un motor y un embrague o un motor de freno y es entregado por un transportador inclinado que tiene ya sea un motor y un embrague o un motor de freno. Estos se controlan mediante controles automáticos de la planta.

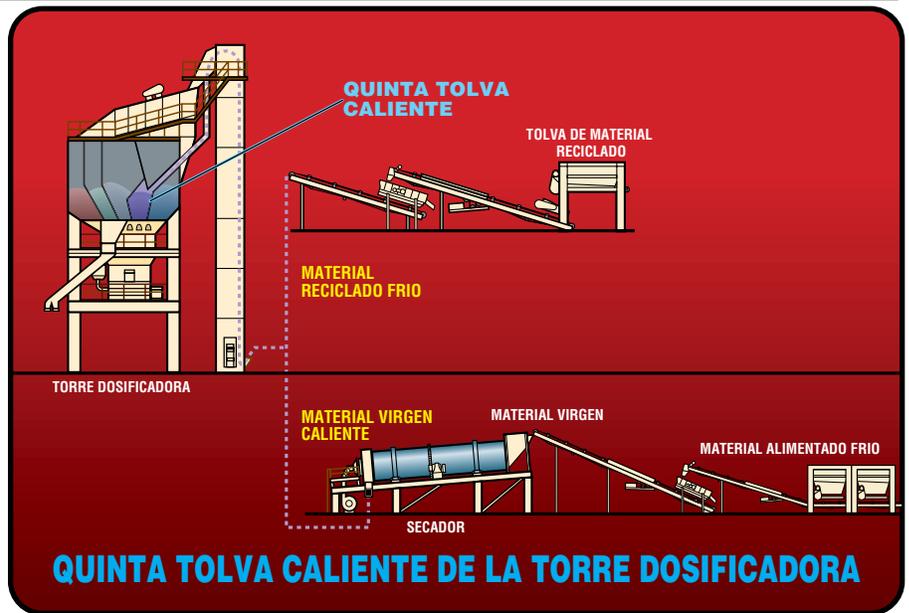
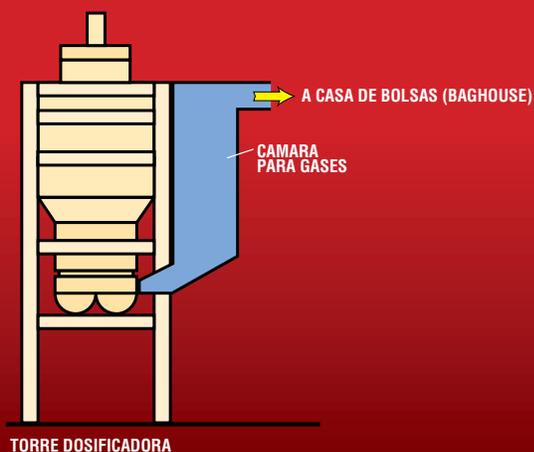


Figura 38

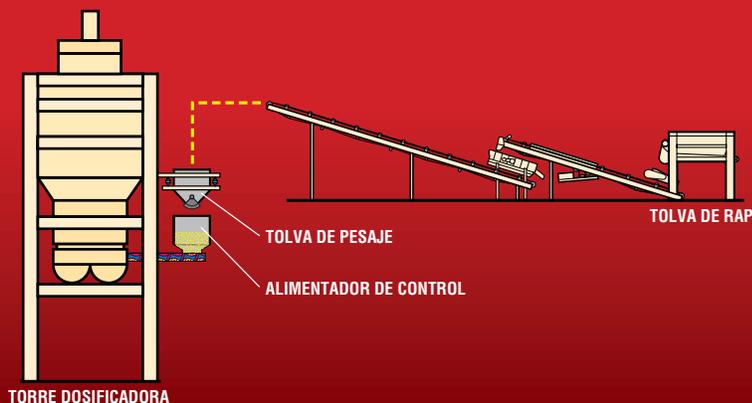


Figura 39



## SISTEMA DE GASES DE LA PLANTA DOSIFICADORA

Figura 40



## ALIMENTACION CONTROLADA A TOLVA DE PESAJE

Figura 41

$$3630 \times 0,30 = 1089 \text{ kg de RAP}$$

$$5 \% \text{ de humedad} = 0,05 \times 1089 \text{ kg} = 54,5 \text{ kg de agua}$$

$$\text{Vapor} = 54,5 \times 2,06 \text{ m}^3 \text{ por kg} = 112 \text{ m}^3 \text{ de vapor}$$

La descarga de la tolva de pesaje normalmente tarda alrededor de 5 segundos. Durante ese tiempo, se genera vapor a razón de  $1346 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $112 \times 60 \div 5 = 1346$ ). Aunque este volumen se genera únicamente durante cinco segundos, requerirá una casa de bolsas (baghouse) que pueda manejar  $1400 \text{ m}^3/\text{min}$  para dar salida al vapor del mezclador durante ese período de cinco segundos. Sin embargo, al aumentar el tiempo de descarga de la tolva de pesaje a diez segundos, se reduce el volumen de vapor a  $673 \text{ m}^3/\text{min}$ , reduciendo así la capacidad necesaria de la casa de bolsas.

Para aumentar el tiempo de calentado del RAP, se puede dejar caer el material de la Tolva 1 en la tolva de pesaje para pesarlo. Se arrancan entonces los transportadores de RAP y se dejan funcionar hasta que se alcance el peso determinado del RAP deseado. El sistema de control detiene entonces ambos transportadores. Se añaden entonces los materiales de las Tolvas 2, 3 y 4, hasta que se alcance un peso determinado. Por consiguiente, se intercala el RAP entre los agregados calientes.

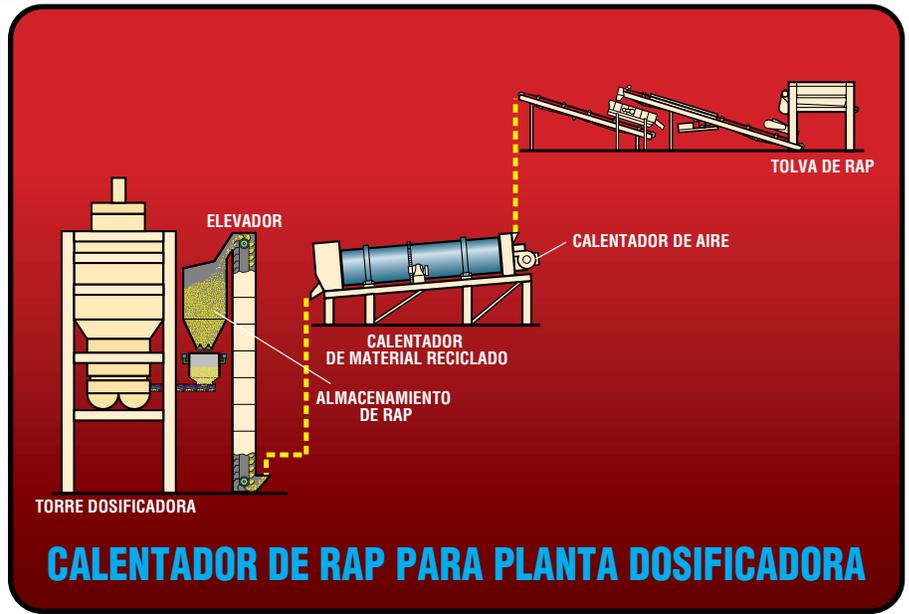
Normalmente, se produce una explosión suave cuando se deja caer el material sin mezclar de la tolva de pesaje a la amasadora en funcionamiento. La amasadora mezcla instantáneamente el RAP frío con el agregado virgen caliente. La explosión es el resultado de la evaporación casi instantánea del agua del RAP. Se muestra el volumen de vapor producido en los cálculos siguientes para una planta de bachas de 3630 kg usando 30 por ciento de RAP con 5 por ciento de humedad:

Aunque no es un método muy práctico, un método alternativo de captura del vapor consiste en construir una cámara grande detrás de la planta, como se muestra en la **Figura 40**. La cámara sirve de recipiente de compensación hacia el cual puede escapar el vapor de la explosión.

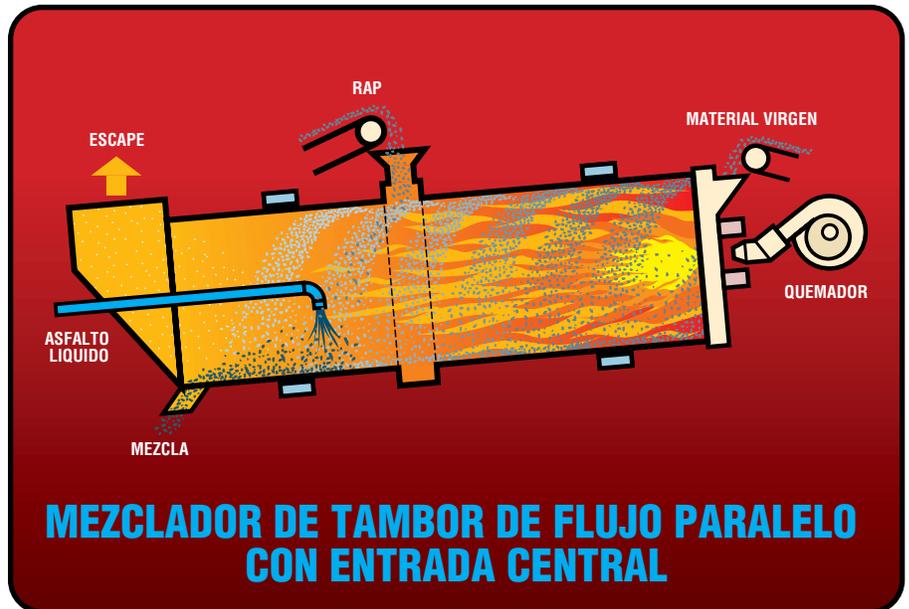
El excedente de vapor entonces puede recuperarse con el sistema de recolección normal de 198 m<sup>3</sup>/min durante los 50 a 55 segundos siguientes, antes de que se prepare la siguiente bacha.

**Método 4.** La **Figura 41** muestra un nuevo sistema de control de alimentación que se está utilizando para plantas de bachas. En este sistema, se alimenta el RAP hacia una tercera balanza para obtener una cantidad determinada de RAP. Después de pesar el RAP, se lo deja caer en una tolva con un alimentador. El alimentador inyecta el RAP en la amasadora en un intervalo de 20 a 30 segundos. Esto retarda el ciclo de la mezcla, pero permite una alimentación controlada. Por lo tanto, se extiende la generación de vapor a un intervalo de 20 a 30 segundos, lo que facilita controlarla.

**Método 5.** La **Figura 42** muestra un secador separado utilizado para recalentar el RAP. Fue desarrollado primero en los Estados Unidos por Astec a mediados de la década de los 70. Ahora se usa normalmente en Europa. Este es un sistema muy caro, pero permite precalentar el RAP. Con este método no es raro utilizar proporciones de 35 a 40% de RAP. Los gases del presecador son usados como aire secundario hacia el secador, el cual consume el humo. El control del sistema es un tanto difícil debido a las variaciones de la humedad en el RAP y las variaciones en el oxígeno disponible en el calentador de RAP.



**Figura 42**



**Figura 43**

## Plantas mezcladoras de tambor

Hoy día hay cinco tipos básicos de plantas mezcladoras de tambor capaces de manejar RAP:

- Mezclador de flujo paralelo con un tambor de entrada central
- Secador de flujo paralelo con mezclador independiente
- Secador de contraflujo y un mezclador continuo
- Mezclador de tambor de contraflujo
- Planta Double Barrel®

La **Figura 43** muestra un mezclador de tambor de flujo paralelo con una entrada central para RAP. Estas plantas se utilizaron eficazmente para el reciclaje en las décadas de los 70 y de los 80. Sin embargo, a medida que las normas de emisión se han vuelto más estrictas y se han aumentado las proporciones de RAP, estas plantas han tenido dificultades para satisfacer las restricciones de emisiones visibles. Este problema era consecuencia de la producción de vapor que destilaba aceite ligero del cemento asfáltico líquido virgen y del RAP. Para una explicación más detallada de

este fenómeno, consulte el boletín técnico de Astec T-116.

La **Figura 44** muestra un secador de flujo paralelo con un mezclador en su extremo. Esta máquina se conoce comúnmente como el mezclador Drum Mix Coater I. Se construyeron más de 200 de estas plantas en la década de los 80. Estas aumentaron la proporción de RAP que podía usarse en un mezclador de tambor de flujo paralelo ya que no se exponía el material de cemento asfáltico líquido virgen al vapor en el proceso de secado. Esto eliminó la destilación del vapor en el asfalto virgen. El secador de flujo paralelo con mezclador independiente podía usar de 30 a 35% de RAP sin producir humo, en comparación con los mezcladores de flujo paralelo que sólo podían usar 25 por ciento de RAP sin

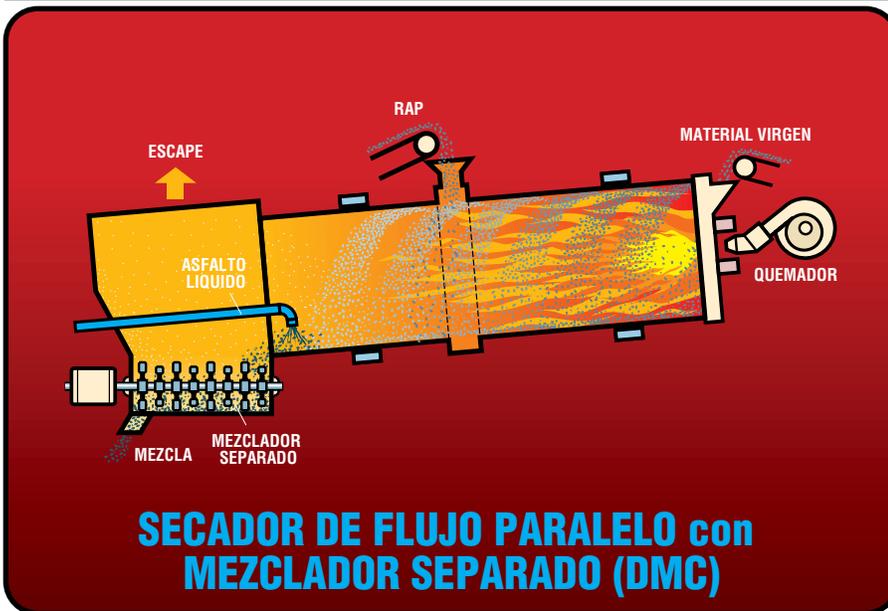


Figura 44



Figura 45

producir humo. Sin embargo, a medida que las proporciones de RAP han aumentado y las normas de emisión se han vuelto más estrictas, ninguna de estas plantas de flujo paralelo podía cumplir las normas más estrictas.

La **Figura 45** muestra un secador de contraflujo y un mezclador continuo, normalmente denominado mezclador Drum Mix Coater II. Esta planta es capaz de usar de 35 a 50% de RAP, según la humedad existente en el RAP. La ventaja inherente que ofrece esta planta es que ni el líquido virgen ni el RAP se expone al vapor o a las altas temperaturas durante el proceso de secado. La desventaja es que requiere un mezclador muy grande de alta potencia y un secador enfriado por aire, especialmente cuando se usan proporciones más altas de RAP. El mezclador Drum Mix Coater II puede cumplir todas las normas de emisión. Más aun, produce una mezcla de excelente calidad cuando se usa hasta 40 por ciento de RAP.

La **Figura 46** muestra un mezclador de tambor de contraflujo. Con esta planta, se pueden cumplir todas las nuevas normas de emisión. Pero esta planta tiene las mismas desventajas inherentes del mezclador Drum Mix Coater II, puesto que el tambor del secador se calienta en extremo al usar proporciones altas de RAP. Otra desventaja es su corto tiempo de mezcla, el cual no siempre produce una mezcla óptima. Más aun, su sección del quemador y de mezclado combinada no permite acceso fácil para trabajos de mantenimiento y ajustes. Y, al usar proporciones más altas de RAP, la corta sección de fusión y mezclado del tambor podría no fundir el RAP suficientemente, produciendo una mezcla no homogénea.

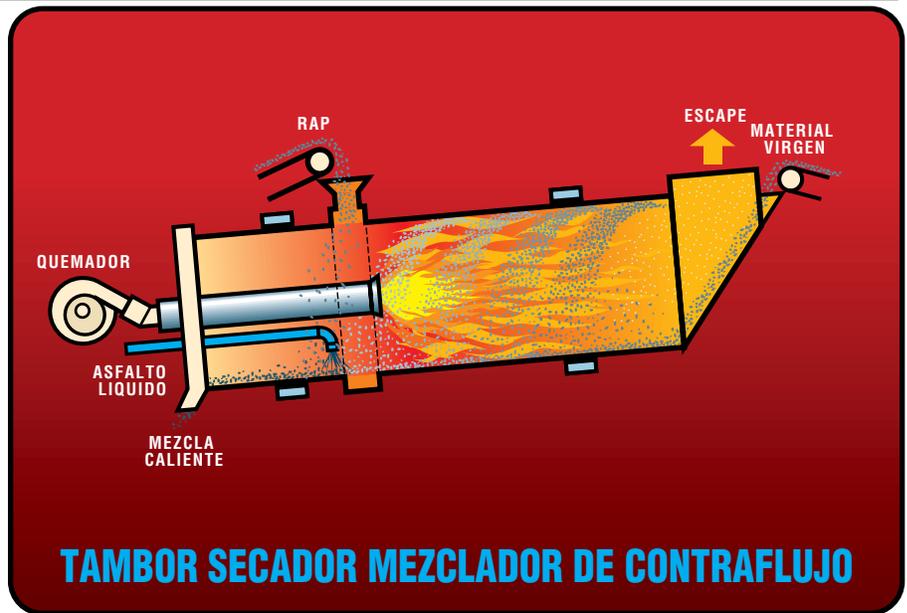


Figura 46

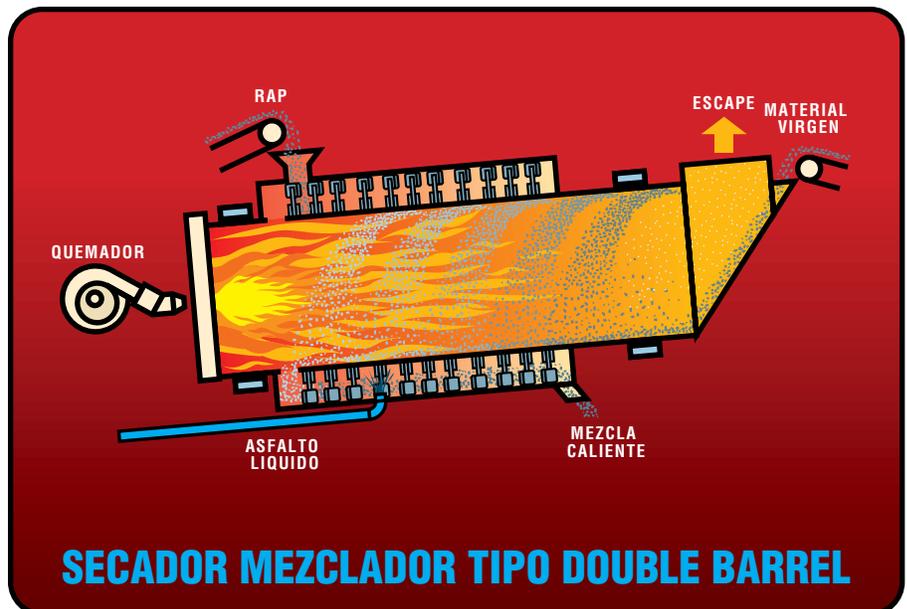


Figura 47



Figura 48



Figura 49



Figura 50

La **Figura 47** muestra la planta mezcladora de tambor Double Barrel. Esta planta es efectivamente una combinación de un secador de contraflujo y un mezclador como se muestra en la **Figura 45**. El mezclador Double Barrel funciona como un mezclador Drum Mix Coater II con un mezclador grande ubicado debajo de la parte inferior del secador. En un mezclador Double Barrel de 2,44 m, el tambor interior de 2,44 m de diámetro sirve como el eje mezclador de una cámara de mezcla muy grande, de 3,35 m de diámetro y 7,32 m de largo.

Este mezclador de gran tamaño da tiempo suficiente para que el RAP se funda completamente después de haberse mezclado con el material virgen sobrecalentado. El tiempo de mezcla es suficientemente largo para obtener una mezcla muy homogénea antes de que se inyecte el líquido nuevo en la mezcla. Y hay tiempo suficiente para que los materiales combinados se enfríen a la temperatura normal de mezcla después de haber añadido el RAP. Durante el proceso de mezcla, toda la cámara de mezcla se llena de vapor. Véase la **Figura 48**. El vapor causa una atmósfera inerte en la sección de mezcla. El vapor tiende a separar el aceite ligero, pero ya que ningún gas fluye por el mezclador, el aceite permanece en la mezcla y hace más brillante el RAP, dándole la apariencia de una mezcla de puro material virgen.

El mezclador Double Barrel permite que una planta de asfalto trabaje con volúmenes de alta

---

producción con proporciones de RAP de hasta 50 por ciento sin contaminar la atmósfera. Tiene eficacia térmica alta, lo cual reduce los costos de operación considerablemente. El calor del tambor del secador va directamente a la sección de mezcla en vez de escapar a la atmósfera.

Para que cualquiera de las plantas arriba mencionadas produzca buenas mezclas con RAP, el RAP deberá clasificarse como se muestra en la **Figura 49**. El material de sobretamaño deberá triturarse y pasarse nuevamente por el sistema. La inclusión de pedazos grandes de RAP en la mezcla no dará tiempo suficiente para que el calor penetre el material. Por consiguiente, los pedazos de RAP grandes no se fundirán adecuadamente.

En general, para preparar una buena mezcla que contenga RAP, éste debe reducirse a su tamaño original. Si el RAP consiste en una combinación de materiales de base, de ligante y de superficie, su tamaño deberá reducirse al del agregado virgen del material que se está produciendo. Este debe triturarse usando uno de los sistemas mencionados arriba. Si se hace esto, se obtendrá un producto reciclado excelente igual o mejor que el que puede producir una mezcla de material virgen.

## CONCLUSION

El reciclaje ofrece enormes ventajas para la industria de pavimentación con asfalto. Las carreteras de asfalto (**Figura 50**) logran un ciclo de vida infinito como consecuencia de la capacidad de extraer un material superficial viejo y volverlo a procesar. Cuando los ingenieros calculen los costos de ciclos reales de vida, las carreteras de asfalto resultarán ser mucho más rentables que las de hormigón. Y debido a que las máquinas fresadoras pueden reparar las carreteras de asfalto, restablecer los peraltes y rehabilitar carreteras de asfalto con interrupciones mínimas para los automovilistas, el asfalto debería convertirse en el material óptimo para la construcción de carreteras.

El uso de material generado del fresado puede reducir de modo significativo el costo de la mezcla de asfalto caliente. Esto hace que la mezcla de asfalto caliente sea mucho más competitiva que el hormigón. Más aun, los materiales fresados obtenidos de un trabajo de autopista frecuentemente exceden la cantidad de material reciclado colocado en esa misma autopista. Esto genera un exceso de material que puede ser usado en trabajos comerciales y privados para reducir más los costos de la industria. El reciclaje es y continuará siendo una importante ventaja para la industria. Seguramente llegará a formar parte de las operaciones de todas las plantas de mezcla caliente del mundo.





**ASTEC** a subsidiary of Astec Industries, Inc.

PO BOX 72787 • 4101 JEROME AVE. • CHATTANOOGA, TN 37407 EE.UU. • 423-867-4210 • FAX 423-867-4636 • [www.astecinc.com](http://www.astecinc.com)

©Astec 2.5M WMS 11/97

97-1018



Printed in U.S.A.