

# RARx

## LA ECONOMÍA CIRCULAR ES UNA OPORTUNIDAD

Hasta el inicio del siglo XIX la población mundial no superaba los 1.000 millones de habitantes, cifra que apenas había aumentando en 500 millones en los anteriores 4 siglos. El siglo XIX marcó el inicio de la era industrial, y con ello, la era de las ciudades. Este cambio fundamental propició que en tan solo un siglo se aumentase la cifra hasta los 2.000 millones de habitantes en los inicios del siglo XX. Pero durante su transcurso la cifra aumentó hasta los 6.000 millones de habitantes, es decir en tan solo dos siglos la población mundial, que tardó cerca de 12.000 años en alcanzarse, se ha multiplicado por 10. En lo que llevamos de siglo ya hemos superado los 7.500 millones y se espera llegar a los 10.000 antes del año 2050.

La contaminación y la degradación ambiental es un reflejo directo del aumento poblacional y de los procesos industriales, los cuales han provocado que en el último siglo el deterioro haya sido alarmante, generando lo que se ha denominado efecto invernadero.



Miguel Angel Sanz Coll es ingeniero Civil y autor de este artículo

La generación de residuos es otro de los grandes problemas con los que nos encontramos, y como es lógico la cifra va en aumento. Según la ONU y el Banco Mundial se generan entre 7.000 y 10.000 millones de tn. de residuos anualmente, de las que menos del 40% son tratadas de manera correcta. En cuanto al tratamiento recibido por dichos residuos, la mayor parte acaba en rellenos sanitarios o vertederos sin ningún tipo de recuperación o reciclaje. El consumo de materias primas, es entendible que está unido al aumento poblacional.

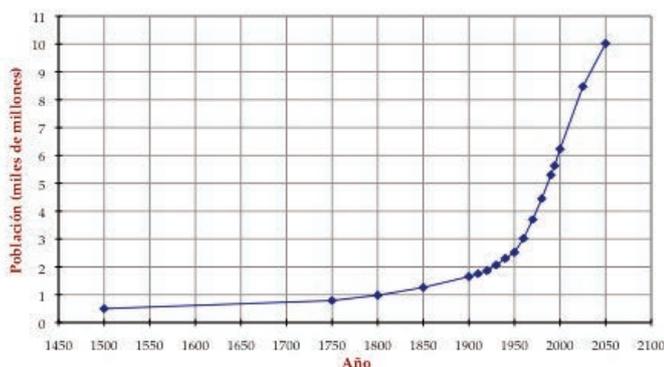
***El mundo está cambiando de manera violenta, y por tanto es necesaria una forma diferente de abordar los proyectos de ingeniería.***

### Economía Circular

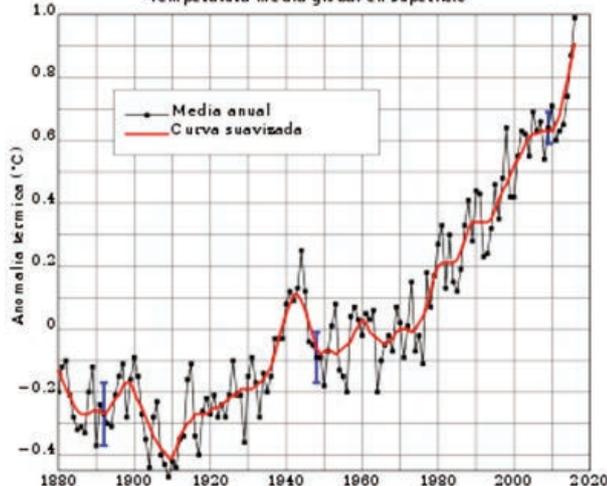
La economía circular es un concepto acuñado en este siglo por el que se define una filosofía de reducción de los residuos generados y la creación de las bases para su retorno al sistema de consumo, generando una rueda en la que los materiales alargan al máximo su vida.

Los países son conscientes de la necesidad de un giro, y por ello la Unión Europea, a través de sus políticas ha creado una estrategia común para llevar a cabo el cambio de modelo de una economía lineal, en la que se consume y se tira a una economía circular. Esta política se ha apoyado en otras como las políticas y manuales de compra verde o el análisis y valoración del ciclo de vida de los productos y servicios.

Evolución de la población mundial (1500-2050)



Temperatura media global en superficie



La población supone varios problemas añadidos: necesidad de alimentos y materias primas, generación de residuos y contaminación.

OUTLINE OF A CIRCULAR ECONOMY

PRINCIPLE

1

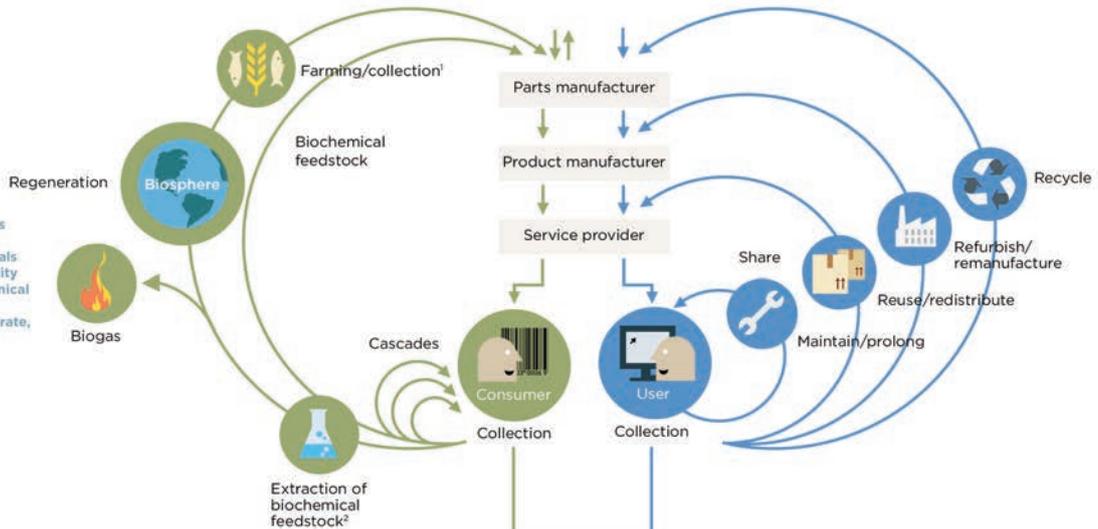
Preserve and enhance natural capital by controlling finite stocks and balancing renewable resource flows  
ReSOLVE levers: regenerate, virtualise, exchange



PRINCIPLE

2

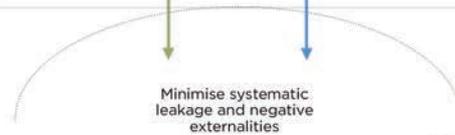
Optimise resource yields by circulating products, components and materials in use at the highest utility at all times in both technical and biological cycles  
ReSOLVE levers: regenerate, share, optimise, loop



PRINCIPLE

3

Foster system effectiveness by revealing and designing out negative externalities  
All ReSOLVE levers



1. Hunting and fishing  
2. Can take both post-harvest and post-consumer waste as an input  
Source: Ellen MacArthur Foundation, SUN, and McKinsey Center for Business and Environment; Drawing from Braungart & McDonough, Cradle to Cradle (C2C).

Diagrama de una economía circular  
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/infographic>

Pero la gran pregunta es:

*¿Estamos ante un grave problema sin solución o ante una oportunidad para todos aquellos que sean capaces de asumir el cambio?*

En España actualmente más del 60% de los residuos urbanos acaban en vertedero, cuando Europa exige que en 2020 esta cifra no supere el 35%. Lo que requiere de grandes infraestructuras de tratamiento.

*Es decir el empleo verde no solo es necesario, sino que puede ser una fuente de empleo potencial en España y en el mundo.*

Utilización del neumático usado en la carretera

En España se generan actualmente más de 257.554 tn. de neumáticos usados (SIGNUS y TNU 2016), de los cuales solo se reciclan por valorización material (uso de sus subproductos en la industria) el 42%. Gran parte de la culpa de que esta cifra no sea mayor es debida a la falta de mercados finalistas de los productos obtenidos.

Es alarmante que la cifra de neumáticos usados utilizados en la fabricación de asfaltos modificados sea tan solo el 1% del caucho obtenido en el 2016, superando apenas las 500 tn. Todo ello después de 20 años de desarrollo de las técnicas de asfaltos con polvo de neumático en España y más de medio siglo desde su comienzo en Estados Unidos. ¿A qué puede ser debido?



Charles Macdonald 1960  
Primeras experiencias con Asphalt Rubber



Máquina con modificación de betunes móviles con polvo neumático

En cierto modo la crisis económica ha sido el gran motivo de este descenso de toneladas, ya que en el año 2010 la cifra de consumo de polvo de neumáticos en las carreteras estuvo cercana a las 5.000 tn., según las mismas fuentes.

Pero sobre todo ha sido debido a que la industria de consumo no ha evolucionado desde su origen; es decir, desde que se inventó la denominada vía húmeda para la modificación de betunes con polvo de neumático en el siglo XX, no ha habido ningún avance tecnológico que haya permitido dar respuesta a la realidad actual de las obras.

Las grandes infraestructuras españolas ya están construidas, y nuestro país cuenta con la segunda red de carreteras de Europa en extensión, tan solo por detrás de Francia y con el mismo volumen que Alemania. En el año 2009, según ASEFMA, superábamos los 666.000 km de red de carreteras.

Esto significa que la de España es una situación de obras de conservación y mantenimiento de red, lo que representa obras más dispersas y de menor volumen, pero con asfaltos de rodadura de mayor calidad. Los sistemas de vía húmeda no son compatibles con esta circunstancia, ya que requieren obras de gran volumen y continuidad.

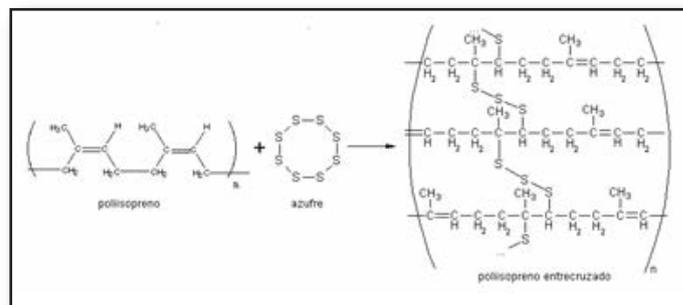
Por otro lado, durante la crisis han crecido las economías emergentes, produciéndose en dichos países una explosión de infraestructuras, con un brutal consumo de asfalto, esto requiere los sistemas de consumo de polvo de neumático permitan ser llevados a otros países.

**Es decir no hay consumo de polvo de neumático, pero existe un mercado enorme que permite su utilización.**

## Calidad de los betunes y asfaltos con polvo de neumático

El caucho procedente del neumático fuera de uso (NFU), es un compuesto técnico fabricado con materiales de altísimo valor. Cauchos naturales, caucho sintético, negro de humo de extrema pureza, sílices, es decir materiales técnicos que permiten dar durabilidad, elasticidad y resistencia al neumático en las condiciones más extremas.

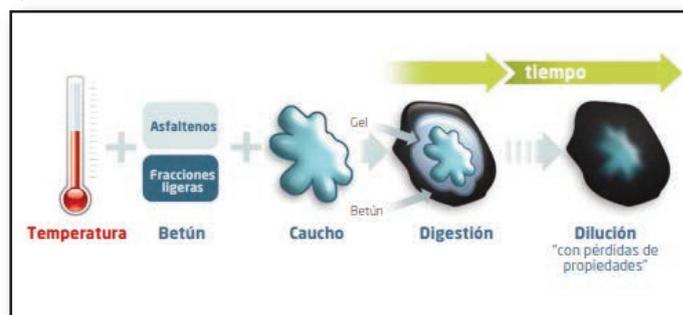
Pero el principal problema con el que se ha encontrado su reciclaje es la estructura molecular de su composición, o vulcanización.



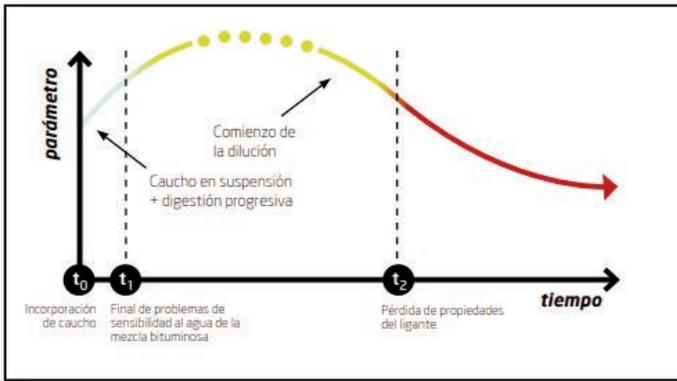
Este proceso de vulcanización forma cadenas carbono-azufre de altísima resistencia y de grandísima dificultad para romperlas. Por esta razón es muy difícil para la industria la reutilización de los cauchos reciclados en composición de nuevos cauchos técnicos.

Pero el betún a elevadas temperaturas, por encima de 170° permite la disolución parcial de estas partículas de polvo de caucho, integrándolas en su estructura, permitiendo betunes mas viscosos, con mayor resistencia a las temperaturas y de mayor elasticidad, es decir permite una teórica desvulcanización.

Para ello es necesario que el betún actúe sobre el polvo de neumático generando lo que se denomina "digestión", consiguiendo unir el polvo de neumático con el propio betún mediante un enlace químico.



Evolución de la interacción betún-caucho  
Guía para la fabricación de betunes con polvo de neumático SIGNUS



Evolución de propiedades modificadas

Guía para la fabricación de betunes con polvo de neumático SIGNUS



Disco de agitación a alta revolución

Durante este periodo de digestión, se mejoran al máximo las características del betún, perdiéndose posteriormente en el tiempo por la propia dilución de las partículas. Este tiempo es más o menos rápido en función de la energía mecánica del método de fabricación en vía húmeda, ya sea con un digestor de alta revolución o mediante simple agitación.

Con la incorporación del polvo de neumático se modifican las características de los betunes, siempre dependiendo del porcentaje de polvo de neumático que se incorpore.

Es decir, se consiguen betunes con una temperatura de reblandecimiento por encima de 75° y con una altísima viscosidad y recuperación elástica, lo que los hace ideales para firmes donde se busque la mayor durabilidad y calidad.

Debido a sus características proporcionan firmes para soluciones de baja sonoridad, lo que permite pensar en una mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.

Con la situación actual, surgen varias preguntas:

*¿El medio ambiente y la economía circular es un problema, o una gran oportunidad?*

*¿El polvo de neumático es el verdadero aditivo para las carreteras del futuro?*

La respuesta a estas dos preguntas, es precisamente la economía circular. Por ello, y bajo la filosofía de ecodiseño, hemos desarrollado un nuevo sistema que permite el uso del polvo de neumático de manera real y eficaz en todas las carreteras del mundo.

**Via semihúmeda aditivo RARx**

El desarrollo del aditivo RARx presenta un nuevo concepto del uso del polvo de caucho para ser introducido en una mezcla bituminosa.

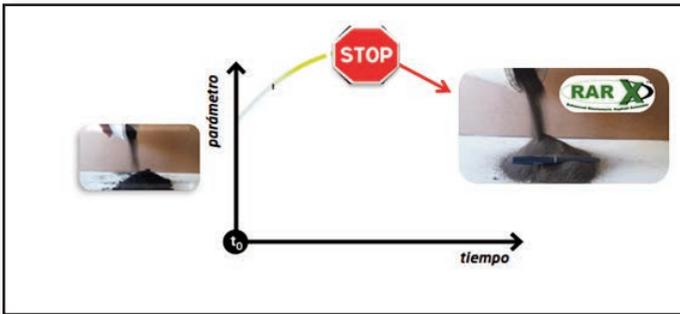
Característica	Norma de referencia	Unidad	BMAVC-1	BMAVC-2	BMAVC-3	
<b>Betún original</b>						
Penetración, 25°C	UNE EN 1426	0,1 mm	15-30	35-50	55-70	
Punto de reblandecimiento	UNE EN 1427	°C	≥ 75	≥ 70	≥ 70	
Punto de fragilidad Fraass	UNE EN 12593	°C	≤ -4	≤ -8	≤ -15	
Fuerza ductilidad (5cm/min)	5°C	UNE EN 13589	--	≥ 2	≥ 3	
	10°C	UNE EN 13703	≥ 2		--	
Consistencia (Flotador a 60°C)	NLT 183	s				
Viscosidad dinámica	135°C	UNE EN 13302	mPa.s	≤	5000	
	170°C			≥ 2000	≥ 1200	≥ 800
Recuperación elástica	25°C	UNE EN 13398	%	≥ 10	≥ 20	≥ 30
Estabilidad al almacenamiento(*)	Diferencia de anillo y bola	UNE EN 13399	°C		≤ 5	
	Diferencia de penetración		0,1 mm		≤ 20	
Punto de inflamación v/a	UNE EN ISO 2592	°C		≥ 235		
<b>Residuo del ensayo de película fina y rotatoria</b>						
Variación de masa	UNE EN 12607-1	%	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0	
Penetración retenida	UNE EN 1426	%p.o.		≥ 60		
Variación del Punto de Reblandecimiento	UNE EN 1427	°C	min -4	máx +10	min -5 máx +12	

Tabla de especificaciones de betunes modificados de alta viscosidad con caucho (BMAVC)

Orden Circular 21/2007 PG3

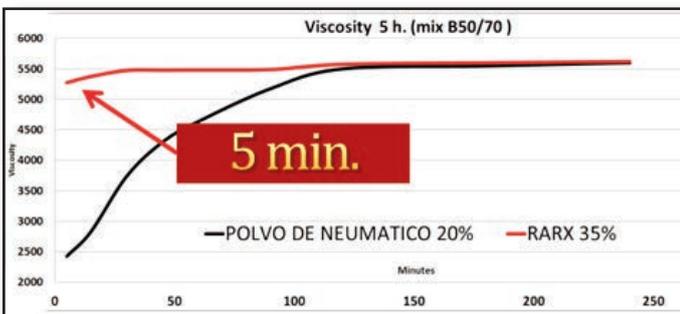


El concepto del RARx es el desarrollo de un aditivo, con una alta composición de polvo de neumático (más de un 60%), fabricado de manera industrial que permite su uso directo en planta de asfalto, sin necesidad de digestión.



Para ello, mediante el tratamiento del polvo de neumático se consigue alcanzar su digestión controlada hasta la máxima calidad y estabilizar el producto para su posterior uso.

Se trata de un material sometido a un proceso industrial controlado de desvulcanización en el cual se incorporan diferentes productos (p.ej.: betún, cal o aditivos) para favorecer alguna propiedad de su futuro comportamiento en el asfalto, manteniendo un porcentaje del 60% al menos de polvo de neumático en su composición.



Su uso directo desde el propio silo de filler, o directamente incorporándolo al mezclador, permite introducir un elevado porcentaje de este producto en una mezcla bituminosa, incluso por encima del 20%

Por otro lado, su carácter pulverulento y su elevada estabilidad al almacenamiento nos permite su transporte no solamente en todo el territorio nacional sino a otros países.

### Experiencia con RARx

Desde su puesta en mercado a través de la nueva compañía CIRTEC, [www.cirtec.es](http://www.cirtec.es), ha habido muchos clientes que han apostado por la reutilización de materiales sostenibles que mejoran a su vez las propiedades de las mezclas convencionales, no solamente en España sino también fuera de nuestras fronteras, en países como Alemania, México, Indonesia, Italia, USA, Irlanda o Rusia, donde ya se está exportando.



Una de las experiencias llevadas a cabo, ha sido en el municipio de Fuenlabrada, donde a través de su Ayuntamiento, y gracias a la ayuda de los proyectos CDTI y de la empresa PADECASA, se han realizado obras e investigaciones encaminadas a conocer las propiedades finales de las mezclas fabricadas con alto porcentaje de polvo de neumático a través del aditivo RARx.

Para ello se ha llevado a cabo el asfaltado de la Avenida de la Hispanidad, por la propia necesidad del Ayuntamiento de diseñar mezclas de bajo espesor, alta durabilidad y que permitan reducir el ruido de la ciudad.

En dicho proyecto se ha testado no solamente el RARx sino un RARx modificado con polímeros, como segunda generación de este tipo de aditivos.

Para ello se extendieron 2 mezclas tipo SMA 11 con los siguientes contenidos de RARx y BETÚN.

#### - SMA 11 RARx:

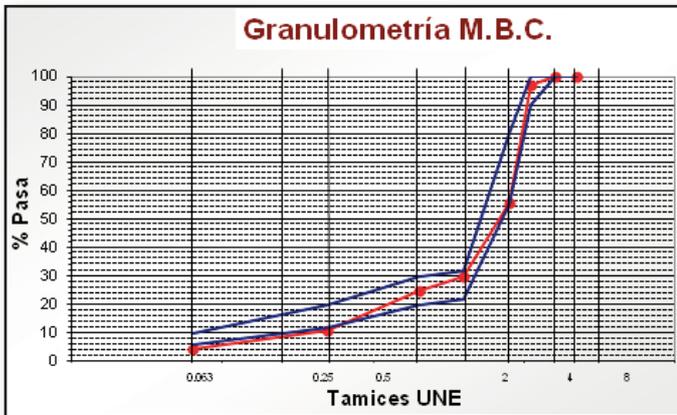
5,8% B 50/70

1,5% RARx\*

**- SMA 11 RARxM:**

5,8% B 50/70

1,5% RARxM\*



**Planta de fabricación**

La mezcla bituminosa en caliente se fabricó en las instalaciones de fabricación de mezclas bituminosas de Padecasa, situadas en el polígono industrial Río de Janeiro en el Término Municipal de Algete (Madrid). Es una planta discontinua, de marca Intrame y modelo UM260, con una producción teórica de 260 tn./hora. Dispone de 5 tolvas de alimentación de los áridos en frío, sistemas de calentamiento y clasificación de los áridos en caliente, dos silos de filler (recuperación de los áridos y aportación industrial) y un mezclador de dos ejes con paletas para realizar la mezcla y homogeneización de los componentes.

La incorporación de los áridos se efectuó a través de tolvas individuales de alimentación con dosificación volumétrica controladas por variadores de frecuencia para manejar simultáneamente varias fracciones. El RARx se presenta en formato pulverulento y es almacenado en el silo de filler de aportación, incorporándolo a la mezcla durante el proceso de mezclado.



*NOTA: En la fabricación se tiene en cuenta el mezclado del árido junto con el RARx durante varios segundos (mezclado en seco) y el incremento del tiempo de la mezcla con betún (mezclado en húmedo).*

**Ejecución de la obra**

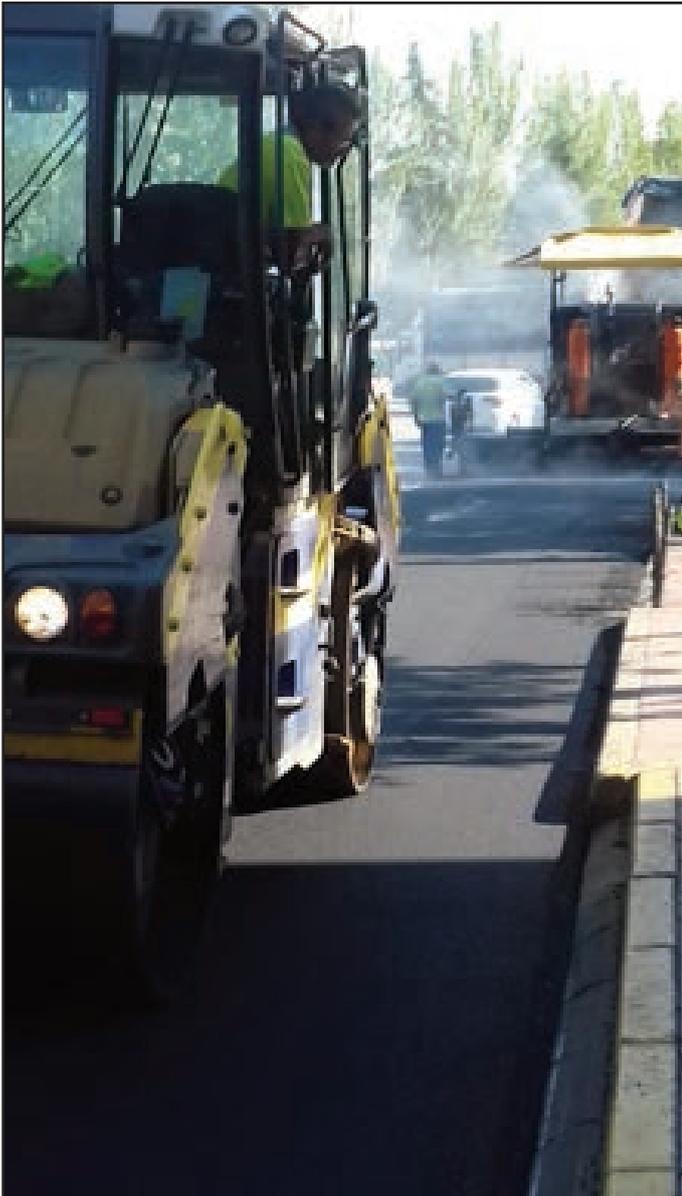
Previamente al extendido de la mezcla bituminosa se efectuaron los trabajos de fresado de zonas deterioradas, puesta a cota de pozos y arquetas y aplicación del riego de adherencia con emulsión (dotación teórica de 300 gr/m<sup>2</sup> de ligante residual). El extendido se aefectúa en horario diurno..

La mezcla SMA se extendió en más de 10.000 m<sup>2</sup> y un espesor de 30 milímetros frente a los 45 milímetros de las mezclas convencionales. La maquinaria empleada para la ejecución de la obra fue la siguiente:

- Extendedora de MB tipo DEMAG DF 145 CS



- Rodillo tipo DYNAPAC CC 102
- Rodillo tipo HAMM HD 110i
- Cisterna de riego de adherencia IVECO.
- Equipos complementarios (fresadora, barredora, limpieza, etc...).



## Resultados

Se han realizado ensayos de laboratorio a fatiga para ver el rendimiento de este tipo de mezclas y para compararlos con una mezcla tipo SMA 11 fabricada con polímeros y fibras de celulosa.



### Fatiga:

En dichos resultado se puede apreciar el mejor comportamiento de las mezclas fabricadas con RARx a vida fatiga, lo que garantiza una mayor durabilidad y resistencia a la fisuración.

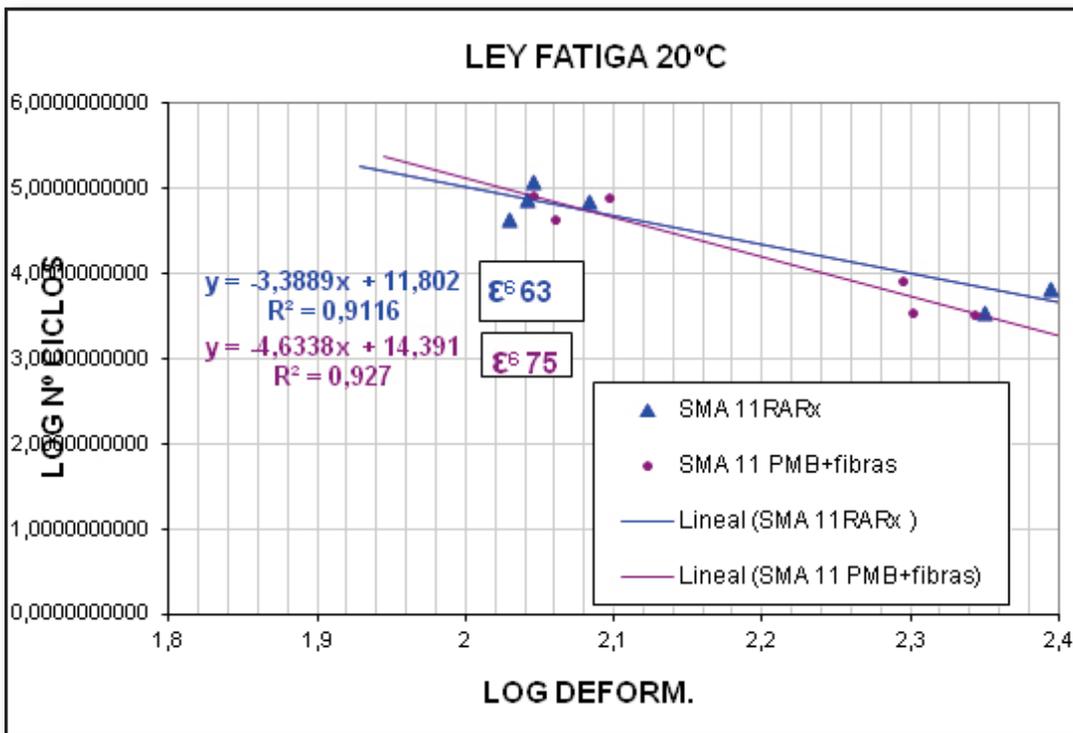
Por otro lado, se han realizado ensayos de medición de ruidos a través del CIDAUT, verificando un comportamiento excepcional, con una bajada de 4 db. sobre la mezcla original.

### Conclusiones

*La utilización de polvo de caucho y el reciclado y uso de materiales provenientes de los residuos y la economía circular es una oportunidad en el mundo actual.*

El uso del polvo de neumático en mezclas bituminosas ha dejado hace años de ser una novedad. Existe gran cantidad de información, manuales y especificaciones que permiten diseñar distintos tipos de pavimentos con un elevado grado de seguridad acerca de su comportamiento, apoyados en las experiencias realizadas en las obras ejecutadas hasta el momento.

El aditivo RARx permite eliminar las barreras existentes para su consumo e introducir en una mezcla bituminosa un elevado contenido de polvo de neumático de NFU, tratado previamente durante el proceso industrial de fabricación del mismo, minimizando la problemática conocida hasta el momento como "digestión del caucho" y permi-



tiendo diseñar firmes especiales.

De esta forma es factible pensar en firmes con mayor contenido en betún, y de mejor calidad, que permiten reducir el espesor de los firmes, y con ello reducir la huella de carbono y otros efectos ambientales, como la generación de residuos del fresa-do.

A su vez este tipo de firmes son una garantía de mayor durabilidad, lo que

redunda de manera directa en el ciclo de vida.

Sin olvidar la importancia que puede suponer para una ciudad una reducción de ruido por encima de los 4 db. diseñando correctamente los firmes.

El RARx además ha permitido generar una verdadera economía circular dando valor al residuo, permitiendo su exportación a países como México, donde se está llevando a cabo el asfaltado de la autopista PIRAMIDES a TULARCINGO gracias a SACYR y a SACYR CONCESIONES en cerca de 80 km. de longitud, lo que va a permitir el reciclaje de más de 300.000 neumáticos equivalentes, y donde el RARx ha sido el avance tecnológico que ha permitido la rehabilitación del firme de hormigón con garantías de durabilidad.

*El RARx rompe las barreras de consumo, pero la economía circular y el cuidado del medioambiente no es posible sin el atrevimiento a dar pasos delante de todos los actores de la carretera.*

*“Uno más sí que suma”, cada persona puede ayudar a cambiar el mundo*

Miguel Ángel Sanz Coll  
Ingeniero Civil  
Gerente de CIRTEC



Av. de la Hispanidad en Fuenlabrada



Autopista de Piramides a Tularcingo (Mexico)