

**Título: “Utilización de cauchos en mezclas asfálticas”**

**Autores:** Botasso, González, Rivera, Rebollo.

- 1 Autor:** Ing. Hugo Gerardo Botasso  
Director  
LEMaC – Centro de Investigaciones Viales  
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata  
Calle 60 y 124  
1900 – La Plata. Buenos Aires  
Argentina  
Teléfono +54-221-4890413  
Fax +54-221-4890413  
e-mail lemac@frlp.utn.edu.ar
- 2 Autor:** Sr. Ruben Osmar González  
Responsable Area Materiales Viales LEMaC
- 3 Autor:** Ing. José Julián Rivera  
Responsable Area de Estudios del Transporte LEMaC
- 4 Autor:** Sr. Oscar Raúl Rebollo  
Técnico Especializado Area Materiales Viales

**Título:** “Utilización de cauchos en mezclas asfálticas”

**1 Autor:** Ing. Hugo Gerardo Botasso (Director LEMaC)

**2 Autor:** Sr. Ruben Osmar González (Responsable Area Materiales Viales LEMaC)

**3 Autor:** Ing. José Julián Rivera (Responsable Area de Estudios del Transporte LEMaC)

**4 Autor:** Sr. Oscar Raúl Rebollo (Técnico Especializado Area Materiales Viales)

## **Resumen**

Los cementos asfálticos para pavimentación poseen a temperatura ambiente una consistencia de sólido o semisólido, con propiedades termoplásticas, ya que su consistencia varía con la temperatura. Así, a bajas temperaturas actúan como un sólido frágil y quebradizo y a temperaturas elevadas como un líquido viscoso. Esta variación puede ser más o menos pronunciada en función del tipo de asfalto y de su proceso obtención (susceptibilidad térmica).

El principal objetivo al modificar asfaltos es lograr propiedades reológicas no obtenidas en los asfaltos producidos con técnicas convencionales de refinación.

Una forma de modificarlos es mediante la incorporación de polímeros, entre ellos los cauchos. Estos pueden ser especialmente fabricados o provenir de la recuperación de piezas en desuso, como es el caso de los neumáticos de vehículos. Estos poseen estructuras complejas y estables que se han venido utilizando desde hace años en países como Alemania, Portugal y Estados Unidos, con procesos de pretratamiento y molienda variados. Las formas de utilización dependen de la competitividad entre la técnica de reciclado y la prestación final.

Existen diversos factores que determinarán la forma de incorporación del caucho para obtener distribuciones estables:

- 1 – Tipo de caucho
- 2 – Tamaño de molienda
- 3 – Tipo de asfalto (composición)
- 4 – Agentes aromáticos
- 5 – Energía de mezclado y temperatura

Este trabajo presenta dos casos de incorporación de caucho a un cemento asfáltico nacional. Se observa el proceso de “digestión” y su afinidad con el tipo de asfalto.

## Artículo

### 1. La utilización del caucho

La reutilización de neumáticos es de amplio uso y difusión en aquellos países que poseen normativas ambientales claras y eficientes.

El caucho puede ser natural o sintético. El de origen natural se elabora a partir del látex, que es una resina blanca lechosa que sale de la corteza del árbol de caucho. Este, si bien es originario de Brasil, fue llevado a Inglaterra en 1876 y de allí exportado a otras zonas bajo dominio británico, determinando que hoy las principales plantaciones – un 90 % del mercado mundial – se encuentren en el sudeste asiático, principalmente en Malasia.

En un principio las utilidades de esta materia prima eran pocas. Fue el comerciante de ferretería Charles Goodyear (1800 – 1860) quién descubrió que, mezclándolo con el azufre y calentándolo, se evitaba que fuese tan pegajoso cuando estaba caliente y tan rígido cuando enfriaba. A partir de este proceso llamado vulcanización se comenzó a fabricar una gama muy amplia de productos como aislamiento para cables eléctricos, mangueras, cintas transportadoras y de manera destacada cubiertas para transporte de automóviles, camiones, aviones, etc. Hacia fines de siglo XIX Michelin en Francia, Dunlop en Inglaterra y Goodrich en Estados Unidos fabricaron las primeras cubiertas para automóviles.

Adecuadas reglamentaciones limitan el uso de los neumáticos, debido al deterioro que se produce en el dibujo del mismo, estando su vida útil relacionada con la calidad del neumático en general, el tipo de caucho y el uso y tratamiento que el mismo reciba.

Según el Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, editado por CEMPRE – Uruguay, “el proceso de regeneración de la cubierta implica la separación de la goma vulcanizada de los demás componentes y su digestión con vapor y productos químicos, como álcalis, mercaptanos o aceites minerales. El producto de esta digestión es refinado en molinos hasta la obtención de un manto uniforme, o extrusado, para obtener un material granulado (...) la goma regenerada se usa en compuestos destinados a productos con menor exigencia en cuanto a desempeño, tales como alfombras, protectores, suelas de calzado, neumáticos industriales y para bicicletas”.

Se puede enumerar su uso en otros fines, como por ejemplo vallas de seguridad, cercos de contención de arena en las playas, paragolpe de embarcaciones, hamacas, juegos, etc. En particular queremos destacar que en Estados Unidos se ha comenzado a exigir en las licitaciones públicas que las empresas constructoras utilicen un porcentaje de 5 % de neumáticos trozados o en polvo en las obras a construir.

De acuerdo a la molienda se originan distintos tamaños de partículas de caucho. Actualmente en Alemania, donde las cubiertas también se quemaban o terminaban en los vertederos, los científicos de la Universidad de Chemnitz han descubierto un procedimiento por el cual después de moler la goma se las funde con plástico propileno, que permite fabricar un material resistente a la tracción, extensible y fácil de trabajar, con el que se pueden producir por ejemplo paragolpes de vehículos.

Según el citado manual del CEMPRE en Estados Unidos, Japón y Alemania se están ensayando diversos procesos de pirólisis con el objetivo de transformar los hidrocarburos presentes en los neumáticos en nuevos materiales como aceite y negro humo, enmarcado dentro de la reobtención de materia prima pura.

## 2. Los neumáticos

Los neumáticos se pueden clasificar en radiales y diagonales según la estructura de la carcasa. Los mismos centran un gran porcentaje de la industria del caucho constituyendo el 60 % de la producción anual del mismo.

Los elastómeros o cauchos son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden variar según sea el tipo de esfuerzo al que son sometidos, volviendo a su forma cuando el esfuerzo se retira.

El caucho natural se extrae a partir del árbol *Hevea Brasiliensis* que es un látex con partículas de caucho en suspensión. Después de un proceso de secado y de ahumado se utilizan diferentes productos. Hoy en día alcanza el 30 % del mercado de los cauchos, el resto lo ocupan los cauchos sintéticos.

Los tipos de caucho más empleados en la fabricación de los neumáticos son:

- Cauchos naturales (NR)

- Estireno – Butadieno (SBR)

- Polibutadienos (BR)

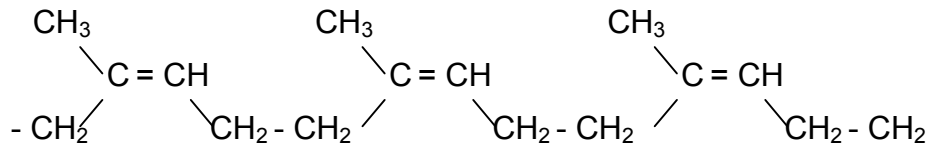
- Polisoprenos (IR)

La combinación se realiza de modo que los cauchos naturales proporcionen elasticidad y los sintéticos estabilidad térmica. Esta combinación de efectos favorece la durabilidad y la capacidad de adaptarse a las nuevas exigencias del tránsito.

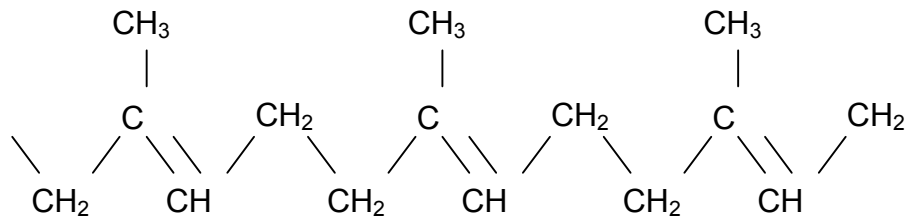
La estructura de los cauchos naturales está formada por *cis*-1,4 polisopreno mezclado con pequeñas cantidades de proteínas, lípidos y sales inorgánicas, entre otros. Se encuentra así un polímero de cadena larga y enredada en forma de espiral, de peso molecular medio,  $5 \times 10^5$  g/mol, que a temperatura ambiente está en un estado de agitación continua. Este

comportamiento general es debido en parte al impedimento estérico del grupo metilo y el átomo de hidrógeno, en el mismo lado del doble enlace carbono-carbono.

Esta cadena se complementa con otro isómero estructural llamado gutapercha.



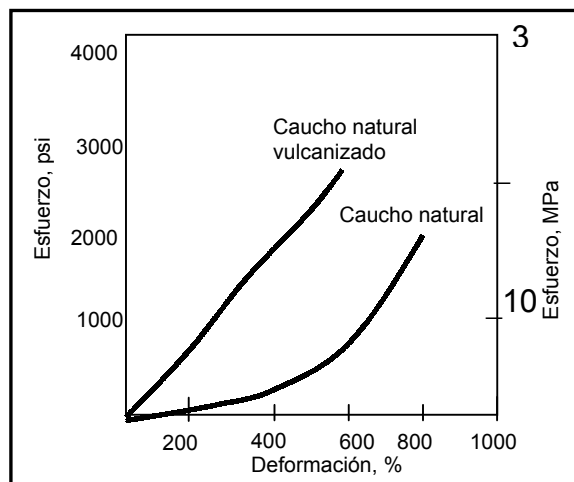
Segmento de una cadena de polímeros de caucho natural



Segmento de cadena polimérica de la gutapercha

**Figura 1**

El proceso de vulcanización a que se someten los neumáticos es un entrelazamiento de cadenas de polímeros con moléculas de azufre a alta presión y temperatura.



**Figura 2**

En el proceso de vulcanización el caucho pasa de ser un material termoplástico a ser uno elastomérico. Las posibilidades de deformación son muy diferentes, como se ilustra en la Figura 2.

La adición de cargas hace abaratar el valor del neumático, dándole cuerpo y rigidez, se utilizan negro de humo y arcillas modificadas.

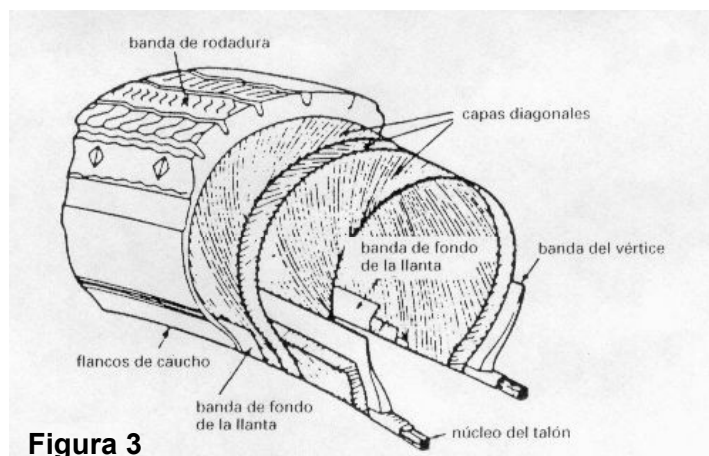
En forma general el neumático esta compuesto por diversos componentes, Tabla 1.

Componentes	Tipo vehículo		Función
	Automóviles % en peso	Camiones % en peso	

Cauchos	48	45	Estructural – deformación
Negro humo	22	22	Mejora oxidación
Óxido de zinc	1,2	2,1	Catalizador
Materia textil	5	0	Esqueleto estructural
Acero	15	25	Esqueleto estructural
Azufre	1	1	Vulcanización
Otros	12		Juventud

**Tabla 1**

En la Figura 3 se puede observar la constitución esquemática de un neumático. Se evidencia la heterogeneidad de la materia prima constitutiva del polvo o molienda de caucho, a pesar de que antes de las primeras moliendas se retiren parte de los



**Figura 3**

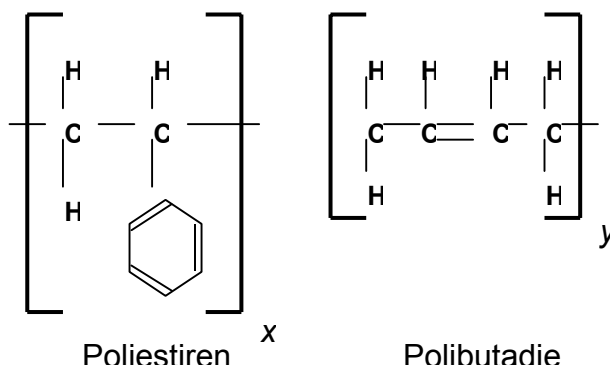
componentes.

En la Tabla 2 podemos observar la relación de algunas de las principales propiedades entre el caucho natural vulcanizado y otros elastómeros sintéticos. Se observa el bajo valor tensional y la alta elongación que poseen.

Elastómero	Resist. A la tracc. PSI	Elongación %	Densidad g/cm <sup>3</sup>
Caucho natural vulcanizado	2,5-3,5	750-850	0,93
SBR	0,2-3,5	400-600	0,94
Neopreno	3-4	800-900	1,25
Silicona	0,6-1,3	100-500	1,1-1,6

**Tabla 2**

Entre los cauchos sintéticos utilizados se encuentran los tipo estireno butadieno, siendo el más ampliamente utilizado el SBR. Después de la polimerización este material contiene entre el 20 al 23 % de estireno. En la Figura 4 se observa la conformación de la cadena.



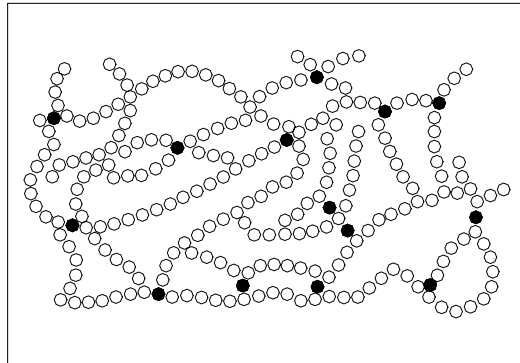
**Figura 4**

La presencia del butadieno permite el entrecruzamiento con el azufre, siendo capaz de producir el isómero cis que tiene una mayor elasticidad que la del caucho natural. El estireno permite tener un caucho más duro y más tenaz, haciendo que no cristalice bajo grandes esfuerzos.

El SBR es más económico que el caucho natural, por lo que ha sido más difundido y utilizado desde hace tiempo en neumáticos, pero previamente tienen que ser tratados, pues elevan fácilmente su temperatura y absorben con facilidad aceites y naftas derramadas. Su performance es amplia y se encuentra ubicada entre los -50 a 82 °C.

### 3. Desvulcanización

El proceso de vulcanizado deja la distribución de las cadenas poliméricas como se observa en la Figura 5.



**Figura 5 (cadena vulcanizada)**

El desvulcanizar es un proceso costoso y pocas veces aplicable en la utilización de los neumáticos para la adición a asfaltos. El proceso consiste en la rotura de los enlaces S-S del polvo de caucho mediante técnicas térmicas y químicas.

### 4. Niveles de molienda

Los niveles de molienda del caucho se pueden clasificar en:

#### 4.1. Nivel de trituración previa

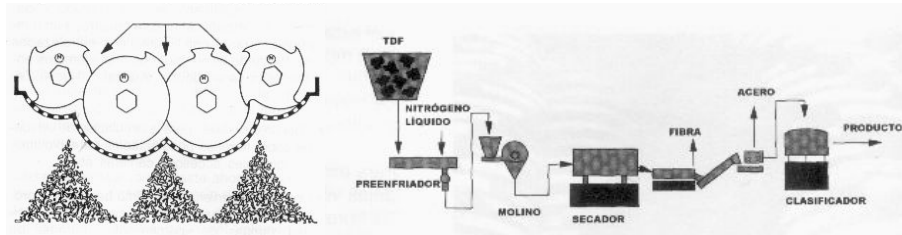
Se realiza un triturado previo con trituradoras de 2 o más ejes, con cuchillas que giran entre 15 y 20 RPM. El tamaño de producción puede no ser estable, pero eso no tiene gran importancia en esta etapa por que se considera de trituración macro.

#### 4.2. Nivel de trituración final

Existen dos métodos en los que se requiere que previamente haya sido retirado el componente metálico. Los métodos se enuncian a continuación.

4.2.1. A temperatura ambiente: con molinos clásicos y por cilindros se separa la parte textil.

4.2.2. Criogénesis: se realiza entre  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  dando un producto más afín y de mejor finura de hasta valores que pasan un 100 % la malla N° 100 de ASTM.



## Molienda de caucho en forma preliminar y en procesos de criogénesis

Figura 6

### 5. Posibles usos

Los usos principales que se pueden dar al caucho extraído de neumáticos son:

- utilización en asfaltos
- incineración
- vertederos

En el uso de la construcción existen antecedentes de utilización en:

- ✓ *mezclas bituminosas*
- ✓ *membranas SAMI*
- ✓ *membranas impermeabilizantes*
- ✓ *sustitución de áridos (parcial con moliendas de caucho vía seca)*
- ✓ *modificación directa del asfalto por vía húmeda*

En todos los casos se observan dos roles fundamentales:

- ✓ actuación como “inerte” en relleno o carga
- ✓ actuación como modificador de ligantes asfálticos

### 6. Experiencias en el LEMaC

En el LEMaC se han realizado algunas experiencias en la utilización del caucho, de las cuales se pueden destacar dos casos:

- ✓ El **Caso A** consistió en la adición de caucho a un cemento asfáltico para mezclas en caliente
- ✓ El **Caso B** consistió en la adición de caucho a cementos asfálticos para uso de selladores

6.1. Desarrollo del **Caso A**. Adición de caucho a un cemento asfáltico para mezclas en caliente

El objetivo de esta experiencia es la incorporación de caucho, proveniente de molienda por proceso de criogénesis, en un cemento asfáltico habitualmente utilizado en nuestro medio.

Las características de los materiales originales, del material resultante y de los procesos llevados a cabo son las siguientes:

<p><b>Descripción del proceso</b></p> <p>Proceso de molienda: criogénesis <math>-60\text{ }^{\circ}\text{C}</math></p> <p>Característica de finura: Pasa # 100 = 100 %</p> <p>Energía de mezclado: Dispensor 5000 rpm, sin generar envejecimiento y oxidación (situación verificada)</p> <p>Tiempo de mezclado: 20 minutos</p> <p>Temperatura de mezclado: <math>180\text{ }^{\circ}\text{C}</math></p>
<p><b>Composición básica del caucho utilizado sobre muestra general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caucho: 47 % a 60 %</li> <li>- Negro de humo: 30 %</li> <li>- Oxido de Zinc: 2 %</li> <li>- Aditivo rejuvenecedor: 8 %</li> </ul>

**Tabla 3**

**Caracterización del asfalto base utilizado**

<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Penetración (25, 100, 5)	0,1 mm	<b>70</b>
Punto de ablandamiento A y B	$^{\circ}\text{C}$	<b>46</b>
Punto de inflamación	$^{\circ}\text{C}$	<b>236</b>
I. Penetración ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )		<b>- 0,9</b>
Densidad relativa ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	$\text{gr}/\text{cm}^3$	<b>1,029</b>
Ductilidad ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	cm	<b>&gt; 100</b>
Recuperación elástica	%	<b>7</b>
<i>Estabilidad al almacenamiento</i>		
Diferencia punto de ablandamiento	$^{\circ}\text{C}$	-----
Diferencia penetración	$^{\circ}\text{C}$	-----

**Tabla 4**

**Característica del asfalto aditivado con 6 % de caucho molido por criogénesis**

<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Penetración (25, 100, 5)	0,1 mm	<b>45</b>
Punto de ablandamiento	°C	<b>52</b>
Punto de inflamación	°C	<b>238</b>
I. Penetración (25 °C)		<b>+ 0,6</b>
Densidad relativa (25 °C)	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1,030</b>
Recuperación elástica	%	<b>22</b>
Ductilidad ( 5 °C)	cm	<b>25</b>
<i>Estabilidad al almacenamiento</i>		
Diferencia punto de ablandamiento	°C	<b>3,6</b>
Diferencia penetración	°C	<b>2</b>

**Tabla 5**

Este asfalto aditivado se ha utilizado en un microaglomerado discontinuo en caliente.

6.2. Desarrollo del **Caso B**. Adición de caucho a cementos asfálticos para uso de selladores asfálticos

El objeto de esta experiencia fue el aportar caucho molido proveniente de la trituración por sistema de molinos. La función de la adición de caucho, en este caso, es la de bajar el aporte de otros polímeros vírgenes, ya que por sí solo el caucho no nos permite alcanzar los valores exigidos por la Norma IRAM de selladores. Además, el tipo de molienda utilizado permite la colaboración del caucho como carga en la mezcla aditivada.

<p><b>Descripción del proceso</b></p> <p>Proceso de molienda: por molino</p> <p>Característica de finura: tamaño máximo de partícula 5 mm x 3 mm</p> <p>Energía de mezclado: Dispensor 5000 rpm, sin generar envejecimiento y oxidación (situación verificada)</p> <p>Tiempo de mezclado: 40 minutos</p> <p>Temperatura de mezclado: 180 °C</p>
<p><b>Composición básica del caucho utilizado sobre muestra general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caucho: 47 % a 60 %</li> <li>- Negro de humo: 30 %</li> </ul>

- Oxido de Zinc: 2 % - Aditivo rejuvenecedor: 8 %
<b>Características básicas del polímero SBS utilizado</b> Densidad: 0,95 g/cm <sup>3</sup> Dureza Shore: 77

**Tabla 6**

**Caracterización del asfalto base utilizado**

<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Penetración (25, 100, 5)	0,1 mm	<b>78</b>
Punto de ablandamiento A y B	°C	<b>45</b>
Punto de inflamación	°C	<b>236</b>
I. Penetración (25 °C)		<b>- 1,1</b>
Densidad relativa (25 °C)	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1,030</b>
Ductilidad (25 °C)	cm	<b>&gt; 100</b>
Recuperación elástica	%	<b>8</b>
<i>Estabilidad al almacenamiento</i>		
Diferencia punto de ablandamiento	°C	-----
Diferencia penetración	°C	-----

**Tabla 7**

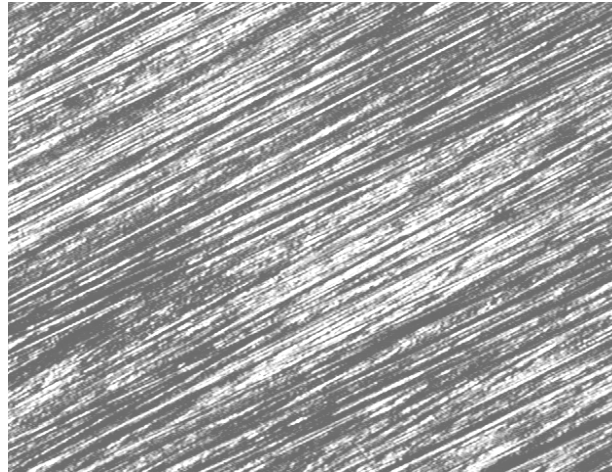
La cantidad de caucho reciclado fue de un 30 % con respecto al 12 % total aditivado. Se observó este porcentaje como el máximo admitido para el sistema del ejemplo, por encontrarse en el límite de digestión del asfalto cumpliendo con Norma IRAM. El total de la adición estuvo compuesto por 30 % de caucho reciclado, 65 % de polímero SBS y 5 % de rejuvenecedor.

Las exigencias de la Norma IRAM para un sellador SA-50 y los valores obtenidos son:

<b>Ensayo</b>	<b>Exigencia</b>	<b>Obtenido</b>
Penetración (25, 150, 5)	entre 35 y 50 (0,1 mm)	<b>40</b>
Punto de ablandamiento A y B	mín. 105 °C	<b>109</b>
Punto de inflamación	mín. 230 °C	<b>236</b>
Densidad relativa (25 °C)	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1,030</b>
Recuperación elástica	mín. 90 %	<b>95</b>

Ensayo de adherencia a $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$	cumplirá	<b>Cumplió los 5 ciclos</b>
Resiliencia	mín. 50 %	<b>63</b>

**Tabla 8**

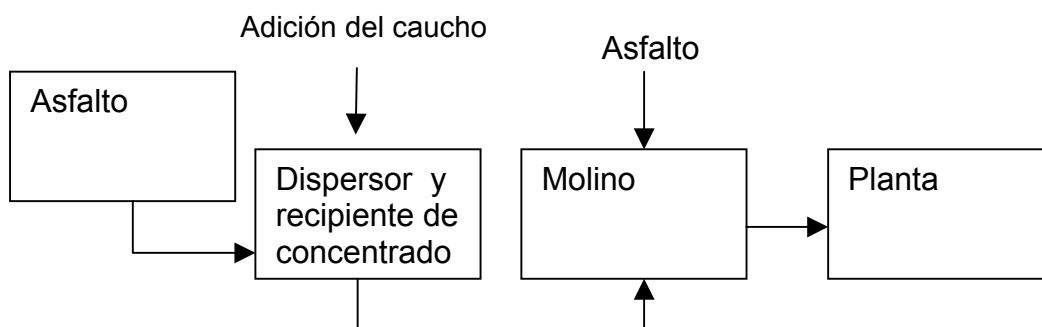


**Microfotografía con estereomicroscopio y analizador de imágenes de la adición  
Figura 7**

## 7. Producción en planta

La adición de caucho puede realizarse tanto en laboratorio como en planta. Según sea el tipo de molienda y la función que cumplen serán los dispositivos a implementarse.

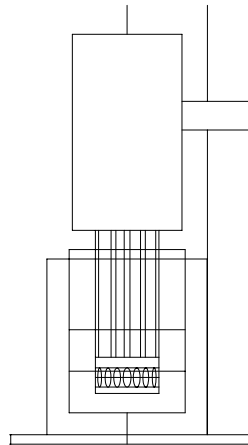
### 7.1. Equipo dispersor para fabricación de concentrado de caucho o equipo dispersor en la producción continua



**Figura 8**

En este esquema se plantea la adición de caucho en el asfalto en un concentrado intermedio para luego regular la producción. El sistema produce una buena dispersión sin dejar asfalto aditivado almacenado.

## 7.2. Equipo dispersor y digestor en recipiente de producción.



**Figura 9**

El sistema plantea la aditivación directa en el sistema total de producción. La misma se recomienda para fuertes adiciones puntuales como el caso de los selladores.

## 8. Conclusiones

De la investigación realizada y las experiencias de transferencias se puede decir que:

- Es posible utilizar en nuestro país cauchos provenientes de neumáticos, los mismos son obtenidos por dos procesos básicos de criogénesis y de molinos.
- Su uso es posible en asfaltos ha ser utilizados en mezclas discontinuas en caliente, dado que se ha obtenido un asfalto con baja susceptibilidad térmica y propiedades viscoelásticas acordes a las exigibles para este tipo de mezclas.
- Para fuertes adiciones, según los materiales utilizados en la experiencia, se pueden obtener mezclas que cumplen las exigencias de los selladores asfálticos, aún con trituración por molino como proceso de obtención del caucho reciclado.
- Los procesos desarrollados en laboratorio son fácilmente adaptables a plantas asfálticas o cualquier tipo de planta de producción de productos asfálticos.

- De acuerdo a lo expuesto se pueden lograr los enunciados de cualquier política de reciclado, tales como reducción de un residuo, menor costo de tratamiento y beneficio sobre el producto logrado en cuanto a su mejora técnica.
- En nuestro país se está en condiciones de procurar la obligación de uso de caucho reciclado en productos afines a la construcción.

## 9. Bibliografía

- ✓ Colin. F. Et al Recent developments in sewage sludge processing. Elsevier. Amsterdam 1983.
- ✓ DAVOS International Forum and Exposition. RECYCLE 93 ed. Maack Business Service Ch-8804 Au/ZH.
- ✓ Curso de Posgrado. Reciclaje de residuos en la construcción. Cátedra de Materiales. Escuela de Superior de Ingenieros de Caminos de Barcelona UPC.
- ✓ Reciclaje de Residuos industriales. Xavier Elias Castells. Ed. Diaz de Santos 2000.
- ✓ Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales. William Smith. 2000.
- ✓ Asfaltos modificados fijación de un residuo contaminante. Botasso, González y otros. UTN La Plata. LEMaC. pag 85. Trigésima primera Reunión del asfalto. Tomo I
- ✓ Reutilización de neumáticos en obras viales Ramón Tomaz Raz. Revista Carreteras N° 118 pag 26.

## **Síntesis curricular de los autores**

Hugo Gerardo Botasso

Ingeniero Civil UTN La Plata. Director del LEMaC Centro de Investigaciones Viales, UTN La Plata. Director de proyecto i+d de Programa de Incentivos del Ministerio de Educación de la Nación. Docente Investigador categoría III del Ministerio de Educación. Docente Investigador categoría B de la UTN. Experto para Programa Fo-Ar de PNUD en misiones en Ecuador, Perú y Chile. Director de desarrollos tecnológicos Nacionales e Internacionales. Docente Maestría Vial y Docente Invitado de Ingeniería Civil, Universidad de Piura – Perú. Docente de Ingeniería Civil, UTN La Plata. Autor de publicaciones técnicas en reuniones Nacionales e Internacionales.

Rubén Osmar González

Técnico especializado UTN La Plata. Responsable Area Materiales Viales del LEMaC. Integrante de proyecto i+d de la UTN. Autor de publicaciones técnicas en reuniones Nacionales e Internacionales.

José Julián Rivera

Ingeniero Civil UTN La Plata. Jefe Técnico y Responsable Area de Estudios del Transporte del LEMaC. Codirector de proyecto i+d de Programa de Incentivos del Ministerio de Educación de la Nación. Docente Investigador categoría E de la UTN. Docente Invitado de Ingeniería Civil, Universidad de Piura – Perú. Docente Ingeniería Civil UTN La Plata. Docente Ingeniería Civil UTN Trenque Lauquen. Becario Centro Politécnico Superior de la Universidad de Zaragoza, España. Autor de publicaciones técnicas en reuniones Nacionales e Internacionales.

Oscar Rebollo

Técnico especializado UTN La Plata. Integrante Area Materiales Viales del LEMaC. Integrante de proyecto i+d de la UTN. Autor de publicaciones técnicas en reuniones Nacionales e Internacionales.