

Caracterización de una microdispersión de caucho reciclado de neumáticos en asfalto

María Eva Sosa / Cecilia Soengas / Gerardo Botasso

LEMaC Centro de Investigaciones Viales. Universidad Tecnológica Nacional.

Facultad Regional La Plata. Buenos Aires, Argentina.

Resumen

Debido a la gran producción y no reutilización de los neumáticos fuera de servicio en países donde no se cuenta con normativas claras, como es el caso de la República Argentina, se ha pensado en valorar las propiedades y la factibilidad de inclusión en cementos asfálticos en caliente.

El trabajo recorre las técnicas de trituración y de caracterización del polvo de neumáticos, diseña la tecnología para producir la microdispersión y generar el Sistema de Asfalto Caucho. Utilizando modernas técnicas se caracteriza el Sistema y se observan los beneficios en sus prestaciones para ser empleado en mezclas asfálticas de alto desempeño. Se destaca sus bondades desde el punto de vista ambientales.

Abstract

Due to the great production and no re-use of tyres out of use in countries in which no clear rules are available, such as Republic Argentina, it has been thought to assess their properties and possibility of inclusion in hot bitumens.

This paper reviews the crushing and characterization techniques of tyre's dust, design the technology to produce micro dispersion and generate the bitumen-rubber system, using modern techniques the system is characterized and his benefits are seen in its uses in bitumen mixtures of high performance. Marking the environmental strength.

La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados constituye en todo el mundo uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años.

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

El problema de la disposición final no ha encontrado hasta el presente una respuesta eficaz en el mundo. A escala internacional no hay estadísticas fiables sobre estimaciones de producción de neumáticos, aunque los datos de que se dispone indican que ésta puede rondar los 6.000.000 Tn/año (Botasso, 2007).

La generación de neumáticos fuera de uso en Argentina –cálculo basado en los volúmenes de producción destinados al mercado interno y a las importaciones– supera las 100.000 Tn/año, de las cuales 38.000 corresponden a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y el Gran Buenos Aires (Botasso, op. cit.).

Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado y también provoca, si no es convenientemente reciclado, contaminación ambiental. Esto se debe a que generalmente van a dar a vertederos incontrolados donde la proliferación de roedores e insectos transmisores de enfermedades son crecientes. La posibilidad de incendio y la baja biodegradabilidad de los mismos constituyen un problema añadido.

Descriptores

Microdispersión de caucho;
Reciclado de neumáticos en asfalto; Sistema Asfalto Caucho

Descriptors

*Rubber Microdiffusion;
Tires recycled in asphalt;
Rubber Asphalt System*

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN | Vol. 23-III | 2007 |
pp. 39-46 | Recibido el 09/11/07 | Aceptado el 15/05/08

Para eliminar estos residuos se usa con frecuencia la quema directa que produce emisiones de gases que contienen partículas nocivas para el entorno.

En el LEMaC, Centro de Investigaciones Viales, se ha desarrollado un método para modificar el asfalto incorporando en él caucho por vía húmeda. Este desarrollo se llevó a cabo atendiendo a la constante necesidad de mezclas asfálticas con mayores rendimientos que las mezclas convencionales (mayor resistencia mecánica, reducción de niveles de ruido, menor desgaste de los neumáticos, mejora de las propiedades antideslizantes, entre otras), contribuyendo a su vez a mejorar las políticas ambientales municipales de la región de la ciudad de La Plata.

Características de un neumático

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 y constituyen el 60% de la producción anual (“Ruedas y Neumáticos”, www.salesia105.edu/alcoy/joanXXII).

El caucho o los elastómeros son materiales poliméricos cuya estabilidad volumétrica puede variar según el tipo de esfuerzo al que se vea sometido, volviendo a su forma original cuando el esfuerzo se retira. Los tipos de caucho más empleados en la fabricación de los neumáticos son (Arias, 1995) (gráfico 1):

- Cauchos naturales (NR)
- Cauchos sintéticos (SR):
- Caucho polibutadieno (BR)
- Aditivos y plastificantes (PLZ)

La combinación se realiza de modo que los cauchos naturales proporcionen elasticidad y los sintéticos estabilidad térmica (Cuattrocchio et al., 2007).

Para ello se utiliza la vulcanización que consiste en someter a los neumáticos a un entrelazamiento de cadenas de polímeros con moléculas de azufre a alta presión y temperatura (Askeland, 2001). En este proceso, el caucho pasa de ser un material termoplástico a ser uno elastomérico. Las posibilidades de deformación son muy diferentes.

La adición de cargas hace abaratar el valor del neumático, dándole cuerpo y rigidez. Para esto se utiliza negro de humo (formado de partículas muy pequeñas de carbono, que aumenta la tenacidad y la resistencia a la tracción, a la torsión y al desgaste), textiles y metales (usualmente en forma de hilos de algodón, nylon y poliéster, que aportan resistencia a los neumáticos), y arcillas modificadas.

Además de las cargas se incorporan aditivos, generalmente volátiles, que facilitan la preparación y elaboración de las mezclas que se utilizan para el control de la viscosidad y a su vez reducen la fricción interna durante el proceso y mejoran la flexibilidad del producto a bajas temperaturas (Baumann, Belger und Duesberg, 2000). Los aditivos a incorporar pueden ser:

- Aceites minerales (aromáticos, nafténicos y parafínicos) y de tipo éster.
- Azufre: se usa como agente vulcanizante para entrecruzar las cadenas de polímero en el caucho.
- Acelerantes: compuestos orgánicos sulfurados, benzotiazol y derivados del óxido de zinc y ácido esteárico.
- Retardantes: N - nitroso difenil amina.

Gráfico 1
Composición porcentual



Caucho	45%
Negro humo	21%
Metal	20%
Téxtiles	4%
Aditivos	8%
Óxido zinc	1%
Azufre	1%

Fuente: <http://www.retread.org>

En el gráfico 2 se puede observar la constitución esquemática de un neumático. Se evidencia aquí la heterogeneidad de la materia prima constitutiva del polvo o molienda de caucho de neumático.

Producción y usos del caucho reciclado

Los residuos provenientes de los neumáticos tienen diversos usos tales como: alfombras; aislantes de vehículos o losetas de goma; masillas; aislantes de vibración; en campos de juego; suelos de atletismo o pistas de paseo y bicicleta; en cables de freno; suelas de zapato; bandas de retención de tráfico; compuestos para navegación, etc. (Blow, 2005). Estos usos emplean un pequeño porcentaje del residuo, siendo los más empleados la reutilización como combustible en hornos, en gran parte ilegales y sin ningún tipo de control medioambiental, y otra gran cantidad se deposita en vertederos, generalmente incontrolados a la espera del recauchutado que no siempre llega (Castells, 2005).

En la construcción se puede destacar su uso en selladores asfálticos, mezclas asfálticas densas de alta resistencia a las deformaciones plásticas y como incorporación en lechadas asfálticas.

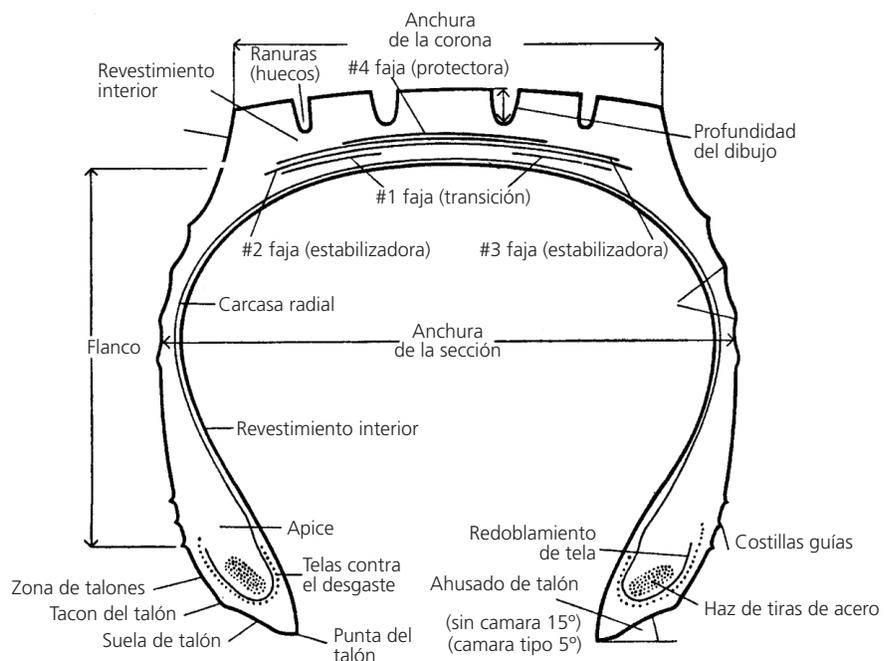
En Argentina el caucho que se comercializa es el proveniente del recauchutado, que consiste en sustituir la banda de rodamiento desgastada por una nueva, lo que permite que se prolongue la duración del resto del neumático por un período similar a la duración de uno nuevo y prácticamente con las mismas prestaciones. Entre las ventajas del recauchutado se pueden citar:

- Favorece al medio ambiente, debido a que se controla la eliminación de las ruedas.
- Se evita el desperdicio inútil de entre 4 y 5 Kg. de goma que se desearía al producirse el desgaste de la banda de rodadura (que viene a ser de 1,5 Kg. de goma).
- El bajo consumo de combustible que se precisa para la producción de un neumático renovado es de 5,5 litros en contraste con los 35 litros necesarios para la fabricación nueva.

En la experiencia se ha caracterizado este tipo de residuo. Para reciclar el caucho de los neumáticos fuera de uso existen distintos métodos, entre los que se pueden citar:

1. Triturado por criogénesis: utilizando nitrógeno líquido a una temperatura aproximada de -60°C , se obtiene por este proceso un mayor grado de molienda.

Gráfico 2
Constitución esquemática de un neumático



Fuente: www.retread.org

2. Trituración a temperatura ambiente: mediante técnicas de molinos trituradores. Se obtienen tamaños entre 2 y 15 milímetros (véase foto 1).

3. Pirólisis: técnica de recuperación de las distintas familias de caucho por procesos térmicos, se obtiene un mayor grado de pureza en las distintas fracciones (foto 2).

4. Caucho proveniente del acondicionamiento de los neumáticos en los procesos de recauchutado (Biel y Lee, 1994).

En la región es factible encontrar en cantidades importantes caucho triturado por amoladoras que acondicionan el neumático antes de recauchutarlo. En esta experiencia se ha caracterizado este tipo de residuo.

De los muestreos de los mayores puntos de producción, el caucho obtenido presenta las siguientes características:

Humedad:	0,02%
Cenizas minerales:	4,00%
Carbono:	86,83%
Hidrogeno:	6,42%
Azufre:	2,31%
Zinc:	3,10%
Hierro:	0,01%

Esta determinación se realizó al rayado de caucho proveniente del recuperado del proceso de recauchutaje, el método utilizado en la caracterización fue la Bomba de Malher. Las dispersiones obtenidas en los valores hallados no superaron nunca el 7%. En parte puede asignarse la variación en las operaciones y en gran medida a la variación del origen de los neumáticos.

Sistema Asfalto-Caucho

El asfalto es un material muy susceptible a los cambios de temperatura, sufre envejecimiento debido a la intemperie, y es afectado por la oxidación y fotodegradación. Sus propiedades mecánicas son muy pobres; es quebradizo a bajas temperaturas y fluye un poco por encima de la temperatura ambiente, además de tener una baja recuperación elástica torsional, lo que limita ampliamente su rango de utilidad (Botasso, op. cit.). Por estas razones el material asfáltico en ocasiones tiene que ser modificado mediante la adición de un agente químico con el objeto de mejorar sustancialmente su comportamiento para una amplia gama de condiciones de temperatura o de aplicación de cargas.

En este caso se ha modificado el asfalto con neumáticos molidos, para modificar las propiedades del asfalto y a su vez aumentar las propiedades de las mezclas asfálticas obteniéndose así altos desempeños en su funcionamiento al momento de estar en servicio.

Al incorporar caucho por vía húmeda a un ligante asfáltico esperamos obtener (Blow, 2005):

- Mayor resistencia mecánica.
- Reducción del nivel de ruido de las mezclas.
- Disminución del desgaste de los neumáticos.
- Mayor durabilidad de las capas de rodadura.
- Mejora las propiedades antideslizantes.
- Menor fragilidad al agrietamiento por diferencia de temperaturas.
- Mejora la impermeabilización de la superficie pavimentada.
- Mejor comportamiento ante las deformaciones plásticas.

Foto 1
Trituración a temperatura ambiente



Fuente: www.tireindustry.org

Foto 2
Pirólisis



Fuente: www.tireindustry.org

Tecnología de la dispersión del caucho en el asfalto

La experiencia se hizo a escala de laboratorio y a escala industrial.

A tal fin se desarrolló en el Centro de Investigaciones Viales un sistema de microdispersión capaz de adaptarse a las características que presentan los dispersores utilizados en plantas de producción continua para que los resultados obtenidos tengan validez cuando sean reproducidos a escala industrial. En la foto 3 se puede observar el dispersor utilizado y el despiece del mismo.

Para comprender el funcionamiento del equipo se deben diferenciar tres etapas (Botasso, 2007):

Etapa 1:

Los materiales son colocados por succión en el fondo del cabezal de trabajo y sometidos a una intensa acción de mezclado por la rotación a alta velocidad de las hojas en el espacio cerrado.

Etapa 2:

Durante la expulsión desde el cabezal de trabajo, las hojas del rotor dan al material una intensa acción de corte a alta velocidad, lo que garantiza una rápida y total disolución. El cabezal desintegrador asiste al proceso disolviendo aglomerados, removiendo grandes tamaños de partículas de manera de producir una dispersión homogénea en minutos, dando la posibilidad de trabajar con tamaños de partículas variables, con el único cambio del anillo del cabezal (ranuras u orificios).

Etapa 3:

Los materiales procesados son luego expedidos con gran fuerza y velocidad dentro del cuerpo de la mezcla. Al

mismo tiempo el material nuevo ingresa a la base del cabezal mezclador. Esta entrada y salida de las mezclas indica un patrón de circulación que dependerá del tamaño del tanque y del tipo de cabezal o equipamiento utilizado.

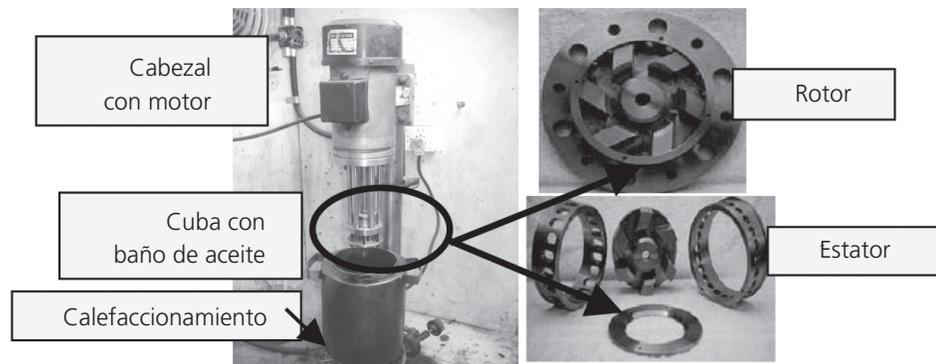
El total de la mezcla pasa a través del cabezal mezclador cientos de veces durante el proceso. El tiempo máximo de éste está en relación directa con el cambio de propiedades en el ligante base, para posteriormente realizar los ajustes necesarios al observar la mezcla resultante por microscopía óptica de fluorescencia por reflexión, permitiendo ésta observar la homogeneidad y estructura de las mezclas.

La microdispersión lograda en base a la temperatura entregada y a la energía de corte utilizada presentará una estabilidad al almacenamiento en el tiempo debido a la molienda generada en el proceso y al grado parcial de humectación que la fracción malténica del ligante genere sobre las partículas de caucho vulcanizado (Bergareche, 2004). A diferencia de la dispersión de un polímero virgen, el vulcanizado (presencia de azufre) dificulta la humectación del caucho afectando la estabilidad de la microdispersión.

El dispersor pasó en su diseño por varias etapas (Botasso, 2007). Las señaladas aquí son el producto de seis meses de pruebas hasta ajustar dos valores principales: la no incorporación de oxígeno para que no se produzca oxidación en el asfalto, y el control de los valores del asfalto.

Midiendo en forma primaria la variación del punto de ablandamiento y la penetración, se llegó a los valores expresados precedentemente.

Foto 3
Dispersor utilizado en laboratorio



Fuente: Elaboración propia.

Estabilidad al almacenamiento

Para que la microdispersión permanezca en el tiempo se realiza el ensayo de estabilidad al almacenamiento, no sólo para evaluar las propiedades del ligante sino para garantizar las condiciones de trabajabilidad en el tiempo con el objeto de que no se produzcan sobrenadantes ni taponamientos en los sistemas de bombeo de las usinas asfálticas y de los equipos regadores (Botasso, 2007).

La dispersión asfalto-caucho se mantiene estable por un período máximo de 3 días por lo que la utilización de la dispersión debe hacerse dentro de ese lapso desde que se adiciona el caucho hasta su colocación.

Los límites utilizados para la caracterización del sistema asfalto-caucho son los expresados en la norma IRAM 6596: Asfaltos modificados para uso vial, Clasificación y requisitos. De acuerdo con esta normativa correspondería a un AM-3 pero variando el tiempo de almacenamiento ya que, como se mencionó, el sistema permanece estable por un lapso máximo de 72 horas. En el cuadro 1 se pueden observar dos ensayos característicos (Asphalt Institute, 1997).

Las distintas pruebas realizadas permiten asegurar que el máximo tiempo de estabilidad de la dispersión

es de tres días, siendo esto un valor muy bueno en relación con otras experiencias realizadas en el mundo (Botasso, op. cit.).

Como técnica complementaria al ensayo de estabilidad al almacenamiento se utilizó la microscopia de fluorescencia óptica, que permite la utilización de un amplio espectro de longitud de onda visible y no visible, observándose así la micro morfología superficial del sistema asfalto caucho, notándose que las partículas de caucho se encuentran semihumectadas. En la foto 4 se puede apreciar lo expuesto.

El tipo de dispersión obtenida y mostrada en la fotografía es la que ha permitido observar mayor grado de humectación y estabilidad en el tiempo (Botasso, 2007).

Proceso constructivo del sistema asfalto-caucho

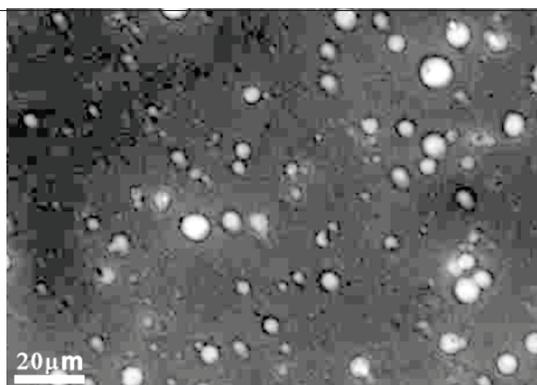
- a) Se transfiere el asfalto al molino.
- b) Se inicia la agitación del ligante asfáltico solo.
- c) Se calienta el asfalto a temperatura controlada: 190°C
- d) Se agrega el porcentaje de caucho (hasta 8% máximo) a velocidad de 7.500 R.P.M.
- e) Se agita por un período de 45 minutos.
- f) Se observa que el caucho haya quedado disperso en el asfalto.

Cuadro 1
Estabilidad al almacenamiento

Estabilidad al almacenamiento 3 días	Ensayo	Límite ASTM D 36 IRAM 6576
Dif. De penetración (1/10 mm)	4	5
Dif. Punto de ablandamiento (°C)	8	10

Fuente: Elaboración propia.

Foto 4
Microscopía de fluorescencia óptica



Fuente: Elaboración propia.

Experiencias

El cemento asfáltico utilizado fue provisto por la empresa Repsol YPF, que mediante un acuerdo de transferencia de tecnología con el LEMaC Centro de Investigaciones Viales decidió realizar su primera producción del Sistema Asfalto Caucho en el país.

A continuación se detalla la caracterización del ligante obtenido con la incorporación del 8% de caucho en comparación con un cemento asfáltico tradicional (cuadro 2).

Los valores aquí informados resultan la máxima prestación alcanzada en el proceso de dispersión.

Se han realizado 22 batch de prueba, modificando distintas variables del proceso entre los que se encuentran temperatura, tiempo, revoluciones, granulometría del caucho, etc. (Botasso, op. cit.).

Cuadro 2
Caracterización del ligante asfáltico

Ensayo	Unidad	CA – 20+ 8% caucho #25
Penetración	1/10 mm	44
Punto de Ablandamiento	°C	56
Recuperación Elástica Lineal	%	21
Recuperación Elástica Torsional	%	33
Ductilidad a (5 °C)	cm.	15
Viscosidad (60 °C) , 1 rpm, S29, (P)	dPa s	-
Viscosidad (135 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	10.11
Viscosidad (150 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	5.06
Viscosidad (170 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	2.39
Viscosidad (190 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	1.20
Punto de Inflamación	°C	235
Índice de penetración		-0,1
Módulo de Corte G* (88° C)	kPa	2.22
Angulo de fase	°	72
Corte Dinámico Factor G*/ sen	kPa	2.33
RTOFT - Determinaciones sobre el residuo después de envejecido		
Penetración	1/10 mm	35
Punto de Ablandamiento	°C	60
Ductilidad del residuo 5 ° C	Cm	12
Índice de penetración		-0.5
Perdidas de masa	%	0,01
Módulo de Corte G* (88° C)	kPa	4.27
Angulo de fase	°	57
Corte Dinámico Factor G*/ sen	kPa	5.09
Viscosidad (60 °C) , 1 rpm, S29, (P)	dPa s	-
Viscosidad (135 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	29.32
Viscosidad (150 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	12.30
Viscosidad (170 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	5.20
Viscosidad (190 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	2.25

Fuente:Elaboración propia.

Conclusiones

De la investigación realizada y las transferencias se desprende que:

- Es posible en Argentina disponer de cantidades significativas de triturado de neumáticos proveniente del proceso de recauchutado.
- Tanto a escala de laboratorio como industrial se ha desarrollado un sistema de dispersión que garantiza la adición del caucho por vía húmeda al ligante asfáltico.
- La estabilidad de la dispersión se garantiza a tres días, observándose humectación parcial de las partículas de

caucho. Esto se observa en las muestras ensayadas a la estabilidad al almacenamiento y en la fotografía de microscopio por fluorescencia óptica.

- El proceso de caracterización del ligante asfalto-caucho es el recomendado en las especificaciones técnicas internacionales.
- Los valores obtenidos demuestran una óptima recuperación elástica por torsión, se eleva el punto de ablandamiento y el módulo complejo de corte a valores de 88°C. Se observa una mayor aptitud del sistema asfalto-caucho para intervalos de temperatura amplios.

Referencias bibliográficas

- Angelone, S.; Martínez, F. (2006) Deformación de mezclas asfálticas permanentes. IMAE Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario.
- Areizaga, J. M.; Cortázar, J. M.; Elortza J.; Iruiñ, J. (eds.) (2001) *Polímeros*. Editorial Síntesis. Madrid.
- Arias, P. (1995) *Manual del automóvil*, Editorial Muriel S. A.
- Askeland, R. (2002) Ciencia e ingeniería de los materiales. Editorial Paraninfo. Madrid.
- Asphalt Institute (1997) *Mix Design Methods For Asphalt Concrete and Other Hot - Mix Types*. The Asphalt Institute, Lexington, Kentucky.
- Asphalt Institute (1997) Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. Superpave Series N°1 (SP-1). The Asphalt Institute, Lexington, Kentucky.
- Asphalt Mixes And Its Influence On Mix Properties (2003) *Proceedings*. The Association of Asphalt Paving Technologist, Vol. 56.
- Bachetta, G. (2001) Consumos de asfaltos en Argentina. Memorias de la XXIX Reunión del Asfalto.
- Baumann, A.; Belger, P.; Duesberg, W. (2000) "Gas Aktuell Stoffliche Verwertung von Altreifen Gummiabfällen". Magazine N° 56.
- Bergareche, E. (2004) *Optimización de la composición y procesado de betunes modificados con polímeros reciclados*. Universidad del País Vasco/ Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU).
- Biel, T. D. y Lee, H. (1994) *Use of Recycled Tire Rubbers in Concrete, Infrastructure: New Materials and Methods of Repair*, Third Materials Engineering Conference, San Diego, California.
- Blow, C. M. (2005) *Rubber Technology and Manufacture*. Institution of the Rubber Industry, UK.
- Boletín de Recursos Naturales* (2003) <http://www.creces.cl/>
- Bolzan, P. (2002) "Diseño de Stone Mastic", *El Asfalto*. Boletín de la Comisión Permanente del Asfalto. N° 105. Buenos Aires.
- Botasso, G.; Balige, M.; Mikelaites, L.; Bissio, A.; González, R.; Rebollo, O. (2005) *Nueva metodología para la valoración de la adherencia árido ligante*. LEMaC Centro Investigaciones Viales UTN Reg. La Plata. Repsol - YPF.
- Botasso, G. (2007) Inclusión de caucho reciclado en mezclas asfálticas. Tesis de Maestría.
- Castells, X. (2005) Tratamiento y valoración energética de residuos. Ediciones Díaz De Santos. Buenos Aires.
- Cuattrocchio, G.; Bisio, A.; Akel, C.; Sciancalepore, L.; Gula, L.; Rebollo, O.; Dipietrantonio, N.; Soengas, S. (2007) *Utilización de caucho en mezclas asfálticas*. XIV Congreso Iberoamericano del asfalto. Costa Rica. LEMaC Centro Investigaciones Viales UTN Reg. La Plata.
- Iosco, O. (1999) Durabilidad de Mezclas Asfálticas Preparadas con Ligante Modificados con Polímeros. Comisión de Investigaciones Científicas. LEMIT.
- Ruedas y Neumáticos (2007) www.salesia105.edu/alcroy.joanXXII