

Utilización de caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de infraestructura

Gerardo Botasso, Oscar Rebollo
Adrián Cuattrocchio, Cecilia Soengas
LEMaC Centro de Investigaciones Viales
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata
lemac@frlp.utn.edu.ar
www.frlp.utn.edu.ar/lemac

Fecha de recepción: 4 de marzo del 2008

Fecha de aprobación: 11 de julio del 2008

Resumen

El presente trabajo se plantea desde la perspectiva de la utilización de residuos de neumáticos que están fuera de uso. Se conoce el problema de sus depósitos en distintos países y la gran demanda de éstos como residuos, la falta de legislación de los vertederos, y la proliferación de enfermedades e insectos que se generan en ellos. Por estos motivos, y aprovechando las nuevas tecnologías en maquinaria de fabricación de ligantes asfálticos, es que se vio la necesidad de estudiar la incorporación del polvo de neumáticos en ligantes asfálticos.

Desde el LEMaC, Centro de Investigaciones Viales, se impulsó la propuesta de utilizar el polvo de neumáticos que la empresa Molicaucho produce. A su vez, se planteó realizar la dispersión del caucho en la refinera con que cuenta la empresa REPSOL – YPF en la ciudad de Ensenada, para que luego de verificar su eficacia, realizar una mezcla asfáltica densa para la utilización como capa de rodamiento.

Es así como, se estudiaron las principales características del asfalto base, el caucho, la dispersión de ambos, los áridos para formular la mezcla densa, la elaboración en planta industrial del asfalto – caucho, su colocación en obra con un tramo experimental en la ciudad de La Plata y la posterior verificación de la mezcla por medio de extracción de testigos.

Palabras Claves: asfalto, caucho, mezcla densa

Abstract

The present work is raised from the utilization perspective of tire waste that is out of use. It is well known the problem of its deposits in different countries and the great demand of these as a waste, the lack of legislation of rubbish dumps, and the proliferation of diseases and insects that are generated in them. Taking advantage of the new technologies in asphalt emulsion production machinery, it's how we saw the need of a study of the incorporation of tire dust into asphalt emulsions.

From the LEMaC, Center of Road Researches, the proposal of using tire dust produced by Molicaucho was boosted. At the same time, the process of making the rubber dispersion in the REPSOL-YPF refinery of Ensenada was established, to make a dense asphalt mix for its use as a bearing layer, not before checking out its efficacy.

This is how the main characteristics of the base asphalt and the rubber were studied, as well as the dispersions of both of them, the arids to make the dense mix, the production in an asphalt-rubber industrial plant, its placing in the building site with an experimental section in the

city of La Plata and the subsequent verification of the mix through the extraction of samples.

Key words: Asphalt, Rubber, Dense Mix

1. Introducción

Según la norma IRAM 6575 un asfalto es un material aglomerante de color marrón oscuro o negro, cuyos constituyentes predominantes son en un 99 % betunes, que se encuentran en la naturaleza o se obtienen procesando el petróleo.

Los cementos asfálticos provenientes del petróleo están formados por los compuestos de alto peso molecular. Estos compuestos son de estructura muy compleja, siendo hidrocarburos y hetero compuestos formados por carbono e hidrógeno acompañados de pequeñas fracciones de nitrógeno, azufre y oxígeno y frecuentemente de Ni, V, Fe, Mg, Cr, Ti, Co, etc.

Entre tanto, el caucho es una sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas.

El caucho sintético se prepara a partir de hidrocarburos insaturados.

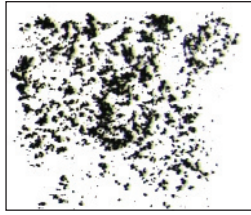
En estado natural, el caucho aparece en forma de suspensión coloidal en el látex de plantas productoras de caucho. Una de estas plantas es el árbol de la especie *Hevea Brasiliensis*, de la familia de las Euforbiáceas, originario del Amazonas. Otra planta productora de caucho es el árbol del hule, *Castilloa elástica*, originario de México, muy utilizado desde la época prehispánica para la fabricación de pelotas, instrumento primordial del juego de pelota, deporte religioso y simbólico que practicaban los antiguos mayas.



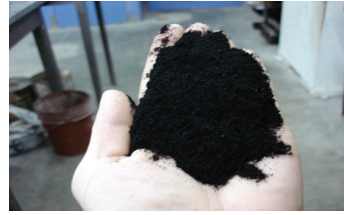
G 3 pasa malla 8



01 pasa malla 18



S E pasa malla 25



El caucho sintético se obtiene por reacciones químicas, conocidas como condensación o polimerización, a partir de determinados hidrocarburos insaturados. Los compuestos básicos del caucho sintético llamados monómeros, tienen una masa molecular relativamente baja y forman moléculas gigantes denominadas polímeros. Después de su fabricación, el caucho sintético también se vulcaniza (Seymour, R. B. et al, 1995).

El origen de la tecnología del caucho sintético se puede situar en 1860, cuando el químico británico Charles Hanson Greville Williams descubrió que el caucho natural era un polímero del monómero isopreno, cuya fórmula química es $\text{CH}_2\text{-C}(\text{CH}_3)\text{CH-CH}_2$. Durante los setenta años siguientes se trabajó en el laboratorio para sintetizar caucho utilizando isopreno como monómero.

Los principales tipos de caucho sintético son: neopreno, buna, caucho de butilo y otros cauchos especiales.

El caucho SBR, estireno butadieno más conocido como caucho SBR es un copolímero (polímero formado por la polimerización de una mezcla de dos o más monómeros) del estireno y el 1,3-butadieno. Este es el caucho sintético más utilizado a nivel mundial.

2. La composición del caucho de neumático recuperado

El caucho utilizado en esta experiencia fue provisto por la empresa Molicaucho S.A. ubicada, en la calle Villaguay 1174 de la localidad de La Tablada, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.

La empresa trabaja en un 80% con caucho recolectado de todo el país de las principales empresas dedicadas al recauchutaje de neumáticos.

Se selecciona el menor tamaño de molienda que pasa el 100% la malla 25 de ASTM (710 micrómetros). Este

tamaño es el menor que se ha podido lograr con la tecnología descrita. Menores tamaños implicaría sumar un sistema de molienda criogenética con nitrógeno no disponible en el país, a escala industrial (Ver foto N°1).

(A) Vista de depósito de neumáticos en New York (1992)

(B) Vista en Municipio en el gran Buenos Aires (2006)

Fotografía 2



(A)

(B)

Composición del caucho

La cinética de degradación de materiales puede ser estudiada mediante la técnica de termogravimetría TGA. Mide la pérdida de peso de una muestra en función del tiempo y la temperatura.

La degradación del caucho presenta dos etapas de reacción en condiciones isotérmicas.

Los componentes principales encontrados y diferenciados por esta técnica son:

NR: Caucho natural

SR: Caucho sintético

BR: Caucho poli-butadieno

PLZ: Aditivos y plastificantes

El contenido de humedad al recibir la muestra fue de 2 % peso.

Fotografía 3 Vista del dispersor en su conjunto, rotor y estator

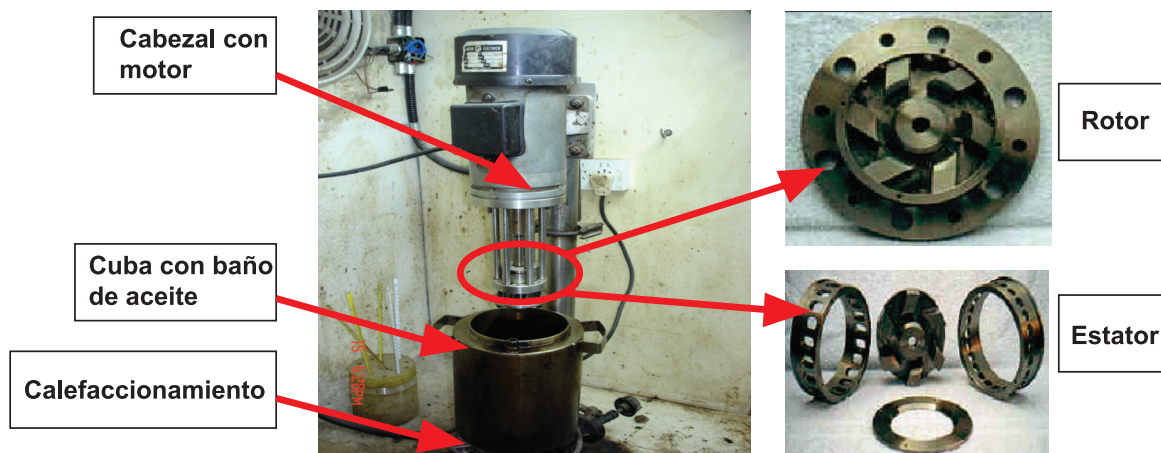


Tabla 1 Caracterización del cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	CA - 20	CA - 20 + 8% de caucho
Penetración	1/10 mm	79	44
Punto de ablandamiento	°C	47	56
Recuperación elástica Lineal	%	16	21
Recuperación elástica Torsional	%	8	33
Ductilidad a (25 °C, 5 °C resp.)	cm	112	15
Viscosidad (60 °C), 1 rpm, S29, (P)	dPa s	2100	-
Viscosidad (135 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	4,12	10,11
Viscosidad (150 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	2,07	5,06
Viscosidad (170 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	0,98	2,39
Viscosidad (190 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	0,532	1,20
Punto de Inflamación	°C	228	235
Índice de penetración		-0,9	-0,1
Mod. Corte G* (58 °C, 88 °C resp.)	kPa	2,30	2,22
Ángulo de fase δ	°	83	72
Corte dinámico Factor G*/sen δ	kPa	2,32	2,33
RTFOT - Determinadores sobre el residuo después de envejecido			
Penetración	1/10 mm	70	35
Punto de ablandamiento	°C	50	60

Los 2 primeros muestran una pérdida del 12 % peso y pueden ser asignados a la volatilización de plastificante.

El tercer y cuarto picos corresponden al NR y BR, respectivamente con un 10 % peso de cada uno.

El quinto es asignado a la descomposición de la mezcla NR con SBR (11 % peso).

El sexto y séptimo con una contribución del 22 % peso representan al BR.

El residuo final de la muestra es del 37 % peso, el cual corresponde a carbón fijo y un 5 % en peso de cenizas.

La forma de recuperar neumáticos en la República Argentina (Ver Foto N° 2), es por el proceso de trituración a temperatura ambiente, tanto en plantas fijas como móviles.

El polvo de neumático fue secado en un horno convencional de laboratorio a 105°C por 24 horas. La muestra pulverizada y clasificada se mantuvo en desecador a temperatura ambiente para evitar la contaminación de la muestra.

Termogravimetría: Modo cuasi-isotérmico

Los datos experimentales muestran 7 picos principales:

Hay dos sistemas básicos para usar el caucho del desecho en procesos de fabricación de mezclas asfálticas en caliente.

Los sistemas de incorporación son:

- a. Proceso por vía seca.
- b. Proceso por vía húmeda.

En estos procesos de molienda habrá diferentes grados de separación de las fracciones presentes tales

como telas, mallas metálicas y el caucho propiamente dicho. Las granulometrías obtenidas serán también diferentes en función del tipo de molino utilizado y las características ambientales del proceso.

La incorporación del caucho triturado por vía seca se hace en las tolvas de agregados de las usinas asfálticas o en las cintas transportadoras de áridos. De esta forma el caucho triturado actúa en la mezcla de áridos y asfalto como un agregado más, no modificando al asfalto prácticamente, ya que no están dadas las condiciones de temperatura y energía de mezclado necesarias para tal fin.

La mezcla asfáltica obtenida puede obtener mejoras en su comportamiento mecánico y en su durabilidad, pero los efectos obtenidos son inferiores a los alcanzados con la incorporación del caucho por vía húmeda.

3. Micro dispersión de caucho por vía húmeda

La micro dispersión de caucho por vía húmeda es la tecnología utilizada en el presente trabajo.

La vía húmeda garantiza una adecuada interacción entre las fracciones de caucho y las fracciones malténicas y resinosas del asfalto, dándose el proceso de humectación e hinchamiento. Se busca de esta forma lograr que el caucho pueda interactuar con el asfalto y lograr la modificación de este.

El sistema de micro dispersión planteado a escala de laboratorio se ha diseñado en acero inoxidable, según se muestra en la Foto N° 3.

El porcentaje de caucho a incorporar al cemento asfáltico, se ha determinado haciendo las siguientes consideraciones:

a. La mayor cantidad que garantice estabilidad en la dispersión: Se ha observado microfotografía de la dispersión y ensayo de estabilidad al almacenamiento.

b. Un porcentaje que permita un comportamiento similar a un AM3 según la clasificación de la norma IRAM 6596/00. Se destaca la palabra "similar" pues las expectativas no son siquiera cumplir exactamente con las mismas, sino utilizarlo como referencia de entorno. El sistema asfalto-caucho como se ha definido no pretende ser un sistema idéntico a un asfalto modificado y seguir los lineamientos de las clasificaciones nacionales e internacionales. Los parámetros centrales

Composición del cemento asfáltico

Tabla 2

	Asfaltenos %	Saturados %	N-A %	P-A %	Ic
Asfalto CA-20	5,69	25,2	56,91	10,1	0,46
CA-20 luego RTFOT	6,1	25,3	55,0	9,1	0,49

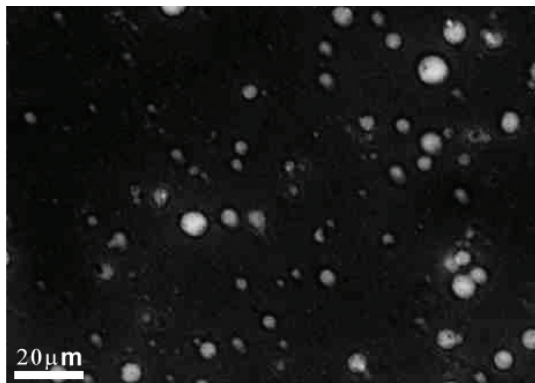
Estabilidad al almacenamiento 3 días

Tabla 3

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

Muestra de las partículas de caucho semi-humectadas

Fotografía 4



Mezcla de agregados

Tabla 4

Tamiz	Abert. Mm	Mínimo %	Mezcla %	Máximo %
1	25400	100	100,0	100
3/4	19100	80	94,7	95
1/2	12700	65	79,7	85
4	4760	45	47,4	62
10	2000	30	35,5	43
40	430	14	16,8	26
100	150	7	8,1	14
200	74	3	5,0	6

considerados son penetración, punto de ablandamiento, recuperaciones elásticas, ductilidad, envejecimiento. El porcentaje de caucho es de 8 % en peso del ligante asfáltico.

La Tabla N° 1 muestra las caracterizaciones del cemento asfáltico (CA – 20) y del cemento asfáltico + el 8 % de polvo de caucho.

Gráfico 1 Curva granulométrica

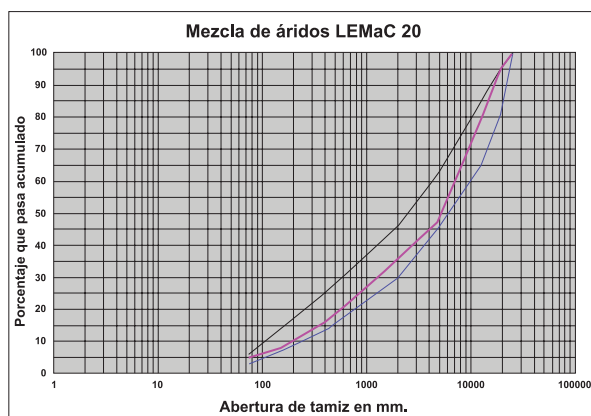


Tabla 5 Relaciones volumétricas Marshall

Densidad Marshall gr/cm ³	Densidad Rice gr/cm ³	Vacios %	Vacios agregado mineral %	Relación Betún Vacíos %	Número golpes por cara
2,410	2,510	3,98	15,79	74,6	75

Tabla 6 Valores mecánicos Marshall

Estabilidad 1 hora KN	Fluencia mm	Relación Estabilidad Fluencia KN/mm	Estabilidad remanente 24 horas %
10,08	3,00	3,36	98

Tabla 7 Valores de tracción indirecta por medio del Test de Lottman modificado a 25 °C

Tensión de rotura Prob. sin acond. Kg/cm ²	Tensión de rotura Prob. acond. Kg/cm ²	Resistencia Conservada TSR %
13,1	13,0	99,2

Tabla 8 Parámetros WTT

	Asfalto-caucho	Asfalto convencional
WTS (mm*10 ³)	0,038	0,144
RD (mm)	1,35	4,14
PRD (mm*mm ⁻¹)	0,027	0,082

La Tabla N° 2 muestra la composición del cemento asfáltico base y luego del ensayo de envejecimiento acelerado RTFOT, a fin de observar la pérdida de volátiles por acción del mezclado.

Microscopía de fluorescencia óptica

Esta técnica permite la utilización de un amplio espectro de longitudes de onda, visibles y no visibles. Es una técnica utilizada para visualizar y diferenciar mezclas de bitumen con ciertos polímeros. Fue esta técnica la utilizada para visualizar la microdispersión.

En la Foto N° 4 se puede observar la microdispersión del caucho en las condiciones de mezclado especificadas. La muestra de asfalto - caucho se tomó y analizó a las 72 horas (3 días) de elaborada la dispersión, a modo de ver cuál sería el estado en un tiempo que se estimó como razonable desde que se produce el asfalto - caucho hasta que se utilizará en la obra. Mayores tiempos de exposición presentaron dispersiones menos estables.

Para valorar la estabilidad al almacenamiento se realizaron los ensayos detallados en la Tabla N° 3.

Se considera a la microdispersión estable a esa edad y se puede observar un cierto grado de humectación de las partículas.

3. Diseño de la mezcla asfáltica

La dosificación de agregados se realizó limitando el contenido de árido natural en un 7 %, los valores de la mezcla de agregados se detallan en la Tabla N° 4. En el gráfico N° 1 se ilustra la curva granulométrica de los agregados y sus límites. El contenido de asfalto - caucho en la mezcla fue de 4,9 % en peso.

En el diseño de la mezcla se utilizó el método Marshall. En la Tabla N° 5 se volcaron las relaciones volumétricas obtenidas y en la Tabla N° 6 los valores mecánicos que se obtuvieron.

Test de Lottman modificado para verificación de la adherencia

El Test de Lottman modificado ha sido propuesto para la valoración de la adherencia de la mezcla en su real situación, con las condiciones que fija el procedimiento de ensayo. En la Tabla N° 7 se muestran los resultados.

Ensayo de Wheel Tracking Test

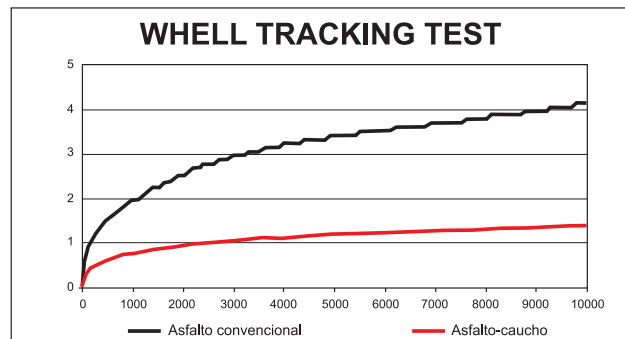
A efectos de valorar el comportamiento frente a las deformaciones plásticas permanentes, se ha realizado el ensayo dinámico de Wheel Tracking Test con la misma mezcla de agregados con el asfalto base y el asfalto

- caucho. La Tabla N° 8 y el Gráfico N° 2 demuestran tales resultados.

Apartir del ensayo de Wheel Tracking podemos confirmar una mejora en la resistencia a las deformaciones permanentes de la mezcla asfáltica correspondiente al asfalto - caucho.

Este aspecto se sustenta esencialmente en dos pilares: la mayor rigidez que el ligante le aporta y la mayor respuesta elástica, condiciones de suma importancia si de deformaciones permanentes se trata.

En este tipo de evaluaciones no es de suma importancia el valor absoluto que se logra alcanzar, dado que a partir



Fabricación y colocación de la mezcla densa en caliente con asfalto caucho

Fotografía 5



de éste es imposible poder realizar una extrapolación a escala "in - situ"; de todos modos, la información que se obtiene a nivel relativo, sí nos permite inferir una clara mejora del asfalto - caucho respecto del ligante convencional en los aspectos relacionados con la rigidez y la elasticidad del concreto asfáltico.

4. La aplicación en obra

Luego de diseñada la mezcla, la empresa Repsol - YPF microdispersa el caucho en el asfalto en su planta de la localidad de Ensenada, y es trasladado a la planta asfáltica. Respetando los valores obtenidos de la estabilidad al almacenamiento, se dispuso de un tiempo de 2 días entre la modificación y la colocación en obra de la mezcla.

Tabla 9 Espesor sobre los testigos

Zona	Espesor Medio Em	Espesor Proyecto Ep	(Em*Ep)*100
Nº	cm.	cm.	%
1	6,02	5,00	120,4
2	6,51		130,2
3	5,32		106,4
4	5,04		100,8

Tabla 10 Porcentaje de compactación

Zona	Densidad media Dm	Densidad Marshall comparativa de la zona Dmc	% de compactación (Dm*Dmc)*100
Nº	gr*cm ³	gr*cm ³	%
1	2,362	2,405	98,21
2	2,358		98,05
3	2,363		98,21
4	2,370		98,54

Tabla 11 Vacíos rice iniciales

Zona	Densidad media Dm	Densidad Rice comparativa de la zona Dmc	Vacíos rice iniciales [1-(Dm/Dr)]*100
Nº	gr*cm ³	gr*cm ³	%
1	2,362	2,505	5,71
2	2,358		5,87
3	2,363		5,67
4	2,370		5,39

Tabla 12 Resistencia a la tracción indirecta

Densidad Marshall de los Testigos gr*cm ⁻³	Tracción Indirecta de los Testigos Kg*cm ⁻²
2,353	7,7
2,361	8,3
2,380	8,6
2,391	9,1

Se tuvo especial cuidado en el control de temperaturas de mezclado y colocación.

El tramo a pavimentar es la Calle 19 entre 508 y 511 de la ciudad de La Plata.

La fotografía Nº 5, muestra parte del proceso de fabricación y colocación.

5. Los controles de obra

Para el proceso de fabricación y construcción se diseñaron especificaciones técnicas particulares (especiales para la experiencia piloto). En ellas se fijaron los controles de obra.

Se puede decir que los valores obtenidos en obra en cuanto a:

Valores Marshall mecánicos y volumétricos

Test de Lottman modificado

Wheel Tracking Test

Granulometrías

Contenidos de ligante

Cumplieron con los límites de las especificaciones fijados, siendo ampliamente satisfactorio.

Se suma en base a la experiencia desarrollada por Martinez A. et al 2002 en exigir a los testigos extraídos aparte de los valores de espesor y densidad un factor de calidad que se define como sigue:

Control sobre testigos extraídos

El último control que se realizó en la obra fue la extracción de testigos con el fin de controlar el espesor del pavimento, y el índice de compactación. En las tablas Nº 9, 10, 11 y 12 se pueden observar los valores arrojados en el control de calidad. En la Tabla Nº 13 se muestran los valores obtenidos, los cuales cumplen con los requisitos especificados.

El gráfico Nº 3 muestra la correlación entre la resistencia a tracción indirecta de los testigos seleccionados (1 por cada zona) y la densidad de compactación de cada uno, siendo $b = 32,442$.

Para este trabajo se tomó el 95% de la compactación, es decir % C = 95.

La Tabla Nº 13 indica el factor de calidad de esta obra; el valor aconsejable debe estar comprendido entre 3 y 4 gr*cm⁻², por lo que el factor de calidad es aceptable.

6. Conclusiones

Se ha podido concretar la producción de asfalto-caucho a escala industrial, por vía húmeda.

La ciudad de La Plata cuenta con su primer tramo de pavimento ecológico.

- Existe en Argentina disponibilidad de caucho procedente de recuperaciones de neumáticos suficientes como para abastecer a la industria vial del país. Se ha descrito en particular la sencillez de contar con caucho proveniente del pulido que se le realiza a los neumáticos que van a ser recapados.

Se hace especial hincapié en cómo se debe caracterizar en forma completa un ligante asfáltico y un modificador como lo es el caucho reciclado de neumáticos fuera de uso. En tal sentido se puede decir que resultan relevantes realizar las siguientes consideraciones:

- Análisis químico de las fracciones que componen el ligante. Viscosidad a diferentes temperaturas.
- Comportamiento reológico del ligante.
- Caracterización del caucho reciclado.

La cantidad de caucho a incorporar se ha definido en 8 %, ha surgido de la “tensión” entre la estabilidad de la dispersión y el máximo grado de modificación para garantizar el mejor rendimiento desde el punto de vista reológico.

Se plantea una forma de caracterizar el ligante antes de ser modificado. Ahora se plantea en el paso siguiente los parámetros principales que permitan valorar:

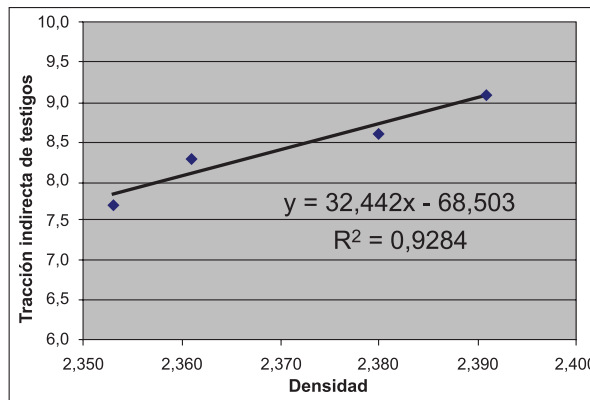
- La estabilidad de la dispersión.** El ensayo de estabilidad al almacenamiento ha demostrado que estimando como máximo una adición del 8 %, no se cumple con los valores exigidos para 5 días de exposición del ligante a 163 °C. Es por ello que con esa máxima adición se ha podido asegurar un tiempo máximo de tres días de estabilidad en condiciones de dispersión de laboratorio. Se esperaba que las condiciones de dispersión en refinería fueran óptimas.

- La recuperación elástica por torsión.** Este parámetro es significativo a la hora de valorar la eficiencia del proceso de modificación. Los valores logrados del orden del 30% fueron un gran aliciente, máxime si se considera que se partió de valores del orden del 10%. Al hacer esta experiencia, se comenzó a vislumbrar que se estaba dando una nueva gama de modificación, que no iba a encuadrar en las clasificaciones realizadas por la norma IRAM como AM-i sino que era muy posible comenzar a ver un nuevo sistema denominado asfalto-caucho.

- Microscopía de fluorescencia óptica.** El parámetro que se comportó como un verdadero

Correlación Rt - Dt

Gráfico 3



Factor de calidad

Tabla 13

Promedio de los testigos (Rt)	Promedio de las probetas (Rp)	Factor de Calidad FC= [Rp-(100-%C)xb]-Rt
gr*cm ⁻²	gr*cm ⁻²	gr*cm ⁻²
8,4	13,8	3,8

Cartel del pavimento ecológico

Fotografía 6



aliciente, fue la observación de las microfotografías obtenidas en el microscopio de fluorescencia óptica, las cuales arrojaron imágenes de un cierto grado de humectación del caucho reciclado. No se esperaba en base a la bibliografía que esto ocurriera, marcado especialmente por el proceso de vulcanizado de los gránulos de caucho. Esto evidencia que el ligante disponía de fracciones resinosas suficientes y que el sistema de microdispersión del laboratorio diseñado es eficiente.

Tabla 14 Especificaciones recomendadas

ENSAYOS	UNIDAD	ASFALTO-CAUCHO		NORMA IRAM
		MIN.	MAX.	
ENSAYO SOBRE EL ASFALTO ORIGINAL				
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	dmm.	40	60	6576
Ductilidad (5°C, 5 cm/min)	cm.	10	--	6579
Punto de ablandamiento	°C	58	--	6841
Recup. Elástica por torsión 25 °C	%	20		6830
Punto de Inflamación V.A.	°C	235	--	6555
Viscosidad Rotacional a 170 °C	cP	200	--	6837
Ensayo de estabilidad al almacenamiento Modificado 3 días en vez de 5 días				
Diferencia de penetración	Dmm.	--	10	6576
Diferencia punto ablandamiento	°C	--	8	6841
Ensayo película delgada RTFOT				
Pérdida por calentamiento	%p	--	1	
Penetración retenida a 25 °C	%p.o.	65	--	6576

- Se opta por una **mezcla densa** con husos granulométricos diseñados específicamente en esta Tesis en base a información del PG3 español. El criterio central es la resistencia de la misma a las deformaciones plásticas permanentes.
- En la valoración de la integridad de la mezcla, **y la afinidad árido-ligante** se propone conocer en detalle al ligante y al árido. El ligante fue caracterizado; en cuanto a los áridos se plantea la utilización de un análisis petrográfico que permita observar los minerales componentes y el grado de acidez de los mismos. Estas variables tienen plena incidencia sobre la adherencia del mastic asfáltico, conformado por ligantes, finos y fillers, al agregado.
- Se introduce como recomendación de este proceso de diseño, la utilización del **Test de Lottman modificado**, como lo es la utilización de la curva real de la mezcla utilizada. Se recomienda como factor de control de la adherencia el uso de esta metodología a partir del valor de resistencia conservada una vez sometidas a las condiciones térmicas que propone el método.
- La resistencia a las deformaciones plásticas permanentes, **ahuellamiento**, es la variable central utilizando un instrumental adquirido recientemente en el LEMaC. Se señalan las principales variables que inciden sobre este parámetro. Se plantea un sistema de compactación y se realizan determinaciones sobre

la mezcla con el asfalto sin la adición y con el asfalto-caucho.

Se proponen las siguientes especificaciones a fin de poder utilizar el sistema asfalto caucho en obra, según se detalla en la Tabla N°14.

Agradecimientos

A la empresa Repsol YPF por la modificación del ligante y la colaboración en el proceso de caracterización.

A la Municipalidad de La Plata, por haber permitido la realización de esta experiencia.

A la empresa Molicaucho S.A. por la disposición del caucho de neumáticos.

Referencias bibliográficas

1. AGNUS J., IOSCO O. (1999). Durabilidad de Mezclas Asfálticas Preparadas con Ligantes Modificados con Polímeros. Comisión de Investigaciones Científicas. LEMIT.
2. ANGELONE S., MARTINEZ F. (2006). Deformación de mezclas asfálticas permanentes. IMAE Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario.
3. HERVÁS RAMÍREZ LORENZO (2006) Los residuos urbanos y asimilables. Capítulo IX: Los neumáticos fuera de uso. Junta de Andalucía. Comunidad Europea. Fondo Europeo de cohesión.
4. MARTINEZ A., PEREZ GIMENEZ F., BIANCHETTO H., DAGUERRE L., NOSETTI, A. (2005). Caracterización Mecánica de testigos de concreto asfáltico mediante el ensayo de tracción indirecta. Experiencias en España y Argentina.