

IAG107-01-2013
INCORPORACIÓN DE PLÁSTICOS RECICLADOS EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS
INCORPORAÇÃO DE PLÁSTICO RECICLADO NA MISTURA
ASFÁLTICA

Marina Cauhapé Casaux

Laboratorio Vial – Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (I.M.A.E)
Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Universidad de Rosario
Rosario, Argentina
marina_cc02@yahoo.com.ar

Manuel Borghi

Laboratorio Vial – Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (I.M.A.E)
Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Universidad de Rosario
Rosario, Argentina

Silvia Angelone

Laboratorio Vial – Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (I.M.A.E)
Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Universidad de Rosario
Rosario, Argentina
sangelon@fceia.unr.edu.ar

Fernando Martínez

Laboratorio Vial – Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (I.M.A.E)
Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Universidad de Rosario
Rosario, Argentina
fermar@fceia.unr.edu.ar

Resumen

El enorme desarrollo tecnológico producido en las últimas décadas así como el alto crecimiento demográfico han convertido el manejo de los residuos generados por la actividad humana en un serio problema tanto por su volumen como por su diversidad. Respecto a su incidencia medioambiental el interés se concentra, principalmente, en los residuos urbanos y rurales. En Argentina, estadísticas muestran que se generan 12.325.000 toneladas/año de residuos de los cuales, los plásticos representan aproximadamente un 15 % compuestos por envases, bolsas, botellas, juguetes, etc. En el caso de residuos rurales, resultan de interés particular los llamados “silo-bolsa” utilizados en Argentina para el almacenamiento a bajo costo de granos en el campo. Muchas son las experiencias realizadas a nivel mundial respecto a la incorporación de “plásticos” a los ligantes asfálticos, siendo menor el número de experiencias realizadas sobre mezclas asfálticas. En esta etapa del trabajo se realiza el estudio sobre mezclas asfálticas modificadas con la adición de residuos plásticos por vía seca. Los elementos seleccionados para esta experiencia son: Polietileno de Silo Bolsa en escamas y en pellets, Polipropileno en chips y PET en escamas. Se presenta una metodología de mezclado e incorporación de plásticos a las mezclas asfálticas en

laboratorio y se compara su comportamiento físico-mecánico respecto a mezclas de control. Del análisis de resultados se aprecia que la adición de distintos tipos de plásticos produce, en mayor o menor medida, modificaciones en el comportamiento mecánico de las diferentes mezclas asfálticas respecto a las mezclas de control y consecuentemente, la incorporación de plásticos reciclados sería una alternativa ambientalmente sustentable y una disposición ventajosa de este tipo de residuos.

Palabras clave: silo bolsa, mezcla asfáltica, residuos plásticos, polietileno.

Resumo

O enorme desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas décadas, eo alto crescimento populacional têm feito a gestão dos resíduos gerados pela atividade humana um problema sério tanto em volume quanto em variedade. Em relação ao seu impacto ambiental, o foco é principalmente sobre lixo urbano e rural. Na Argentina, as estatísticas mostram gerados 12.325.000 ton / ano de resíduos de que, plásticos representam cerca de 15% composto de recipientes, sacos, garrafas, brinquedos, etc. No caso dos resíduos de campo, de particular interesse são o assim chamado "silo-bag" utilizado na Argentina para armazenamento de baixo custo do grão no campo. Muitas são as experiências em todo o mundo para a incorporação de "plástico" para ligantes asfálticos, sendo menos experimentos em misturas asfálticas. Nesta fase, o trabalho é feito o estudo de misturas de asfalto modificadas com a adição de resíduos de plástico por seco. Os itens selecionados para esta experiência são: PE Silo Bolsa flake e pelotas, polipropileno e chips de floco de PET. Uma metodologia de incorporar plásticos mistos e misturas de asfalto no laboratório e comparado o seu comportamento físico-mecânicas em comparação com as misturas de controle. A análise dos resultados mostra que a adição de diferentes tipos de plásticos produzem uma maior ou menor grau, as mudanças no comportamento mecânico de várias misturas de asfalto em comparação com as misturas de controle e, por conseguinte, a incorporação de plásticos reciclados é uma alternativa ambientalmente arranjo sustentável e vantajoso deste tipo de resíduos.

Palavras-chave: saco de silos, asfalto, resíduos de plástico, de polietileno.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el manejo de los residuos generados por los distintos sectores de la actividad humana, debidos al enorme desarrollo tecnológico producido en las últimas décadas y el alto crecimiento demográfico, constituyen un serio problema para el medio ambiente, tanto por su volumen como por su diversidad, motivo por el cual desde diversos ámbitos se están realizando actividades que permiten solucionar, aunque sea parcialmente, este gran problema. La mitigación de las graves dificultades medioambientales derivadas, el cuidado del medioambiente y el concepto de desarrollo sostenible constituyen hoy en día parámetros guía en proyectos de cualquier índole, incluida la producción de mezclas asfálticas más sustentables.

En términos generales, los desechos pueden ser clasificados por su origen en urbanos domésticos, industriales y mineros. En particular, los residuos plásticos urbanos representan aproximadamente un 14 % del total de residuos sólidos urbanos. Son materiales difícilmente biodegradables que ocupan importantes volúmenes de vertederos. Estudios del CTPE (Centro

Tecnológico de Polímeros y Elastómeros dependiente del Instituto Politécnico Superior General San Martín de la ciudad de Rosario) han cuantificado que, particularmente en Rosario, los residuos plásticos representan el 10 % del total de los mismos.

Los residuos plásticos presentan un interés particular respecto a su adición a las mezclas asfálticas utilizadas en la construcción de caminos, debido a la compatibilidad físico-química y su producción derivada de la industria petroquímica. Esto, sumado a que el volumen de materiales consumidos en la construcción de caminos es grande y que los incrementos de solicitaciones - debido al aumento de las cargas transportadas y de los volúmenes de tránsito - demandan materiales de mayores prestaciones, permiten considerar como opción, disponer los desechos plásticos en la ejecución de pavimentos. Esto es válido más allá de si la adición le confiere a la mezcla asfáltica mejores prestaciones o características, ya que, si su incorporación fuera neutra, la sola importancia de disponer los desechos es en sí una contribución importante hacia la conservación y mejora del medio ambiente.

En este trabajo se estudia la factibilidad de incorporar plásticos provenientes de residuos plásticos urbanos y rurales a mezclas asfálticas con el objeto de evaluar los cambios que éstos producen en el comportamiento físico-mecánico de las mismas. Se considera la utilización de algunos tipos de plásticos comúnmente encontrados en residuos sólidos tales como: polietileno (PE) proveniente de las bolsas de residuos y silos bolsa, PET de botellas de gaseosas y sodas y polipropileno (PP) presente en tubos, perfiles, botellas, cajas, juguetes, etc.

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y RURALES

La gestión integral de residuos sólidos (GIRS) debe considerarse una disciplina asociada a la generación, almacenamiento, recolección, transferencia y/o transporte y disposición final de los residuos sólidos, para su correcto control, y en armonía con principios económicos, de higiene y salud pública, de ingeniería y de las correspondientes consideraciones ambientales para responder adecuadamente a las expectativas públicas, utilizando las tecnologías más compatibles con la realidad local. La GIRS presenta actuales problemáticas que, proyectadas al futuro, requieren la toma de acciones en el corto plazo. La cantidad de residuos sólidos generados y recolectados son de una importancia crítica para determinar el cumplimiento de los programas de gestión. La unidad de expresión más común utilizada para la tasa de generación de residuos es la denominada generación per cápita (GPC), cuyas unidades son el kg/hab.día. La GPC puede considerarse como un número fijo promedio para proyectar la generación futura.

Respecto al manejo de los residuos en Argentina, son escasos los organismos que tienen datos organizados en bases compatibles, la mayoría los presentan dispersos o no los poseen y por ello, deben realizarse abstracciones, inferencias y procesamiento manuales para su correcta interpretación. La Organización Panamericana de la Salud (OPS) en 2002 realizó estudios extensivos que pueden considerarse representativos para todo el territorio. La Estrategia Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU), se orienta a construir un diagnóstico sobre la situación actual del manejo de RSU en Argentina. Se basa en un relevamiento de datos, obtenidos empíricamente en el tiempo a través de visitas y entrevistas con distintos interlocutores municipales. Los resultados observados, estiman un valor de la GPC de 48.5 kg/hab x año. Respecto a los materiales presentes en los RSU indican que una fracción importante puede considerarse posible de reciclar (plástico, papel y cartón y vidrio en menor

medida). En cuanto a la disposición final se observa que más del 50% de los residuos son depositados en basurales a cielo abierto, lo cual indica que deben implementarse políticas urgentes para mitigar esta situación tan problemática. En la Figura 1 se muestra la composición y disposición final de residuos sólidos urbanos.

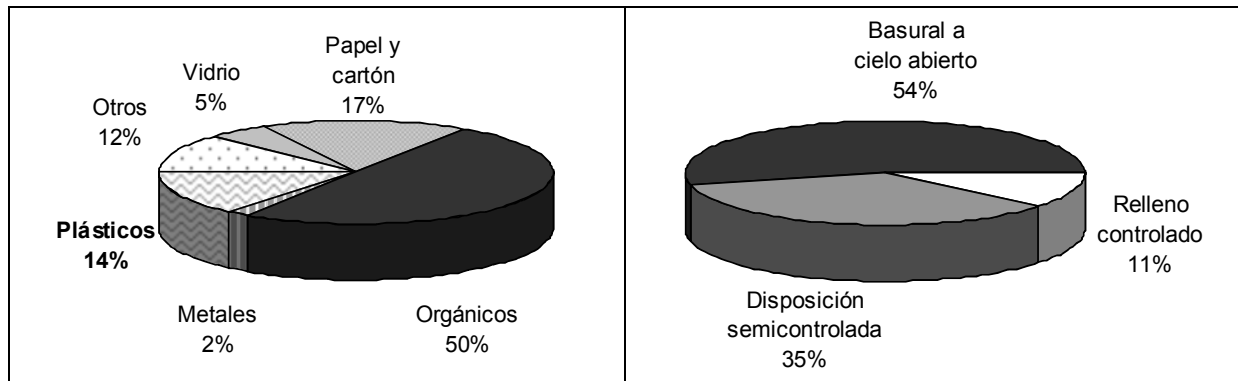


Figura 1: Composición y disposición final de residuos sólidos urbanos en Argentina

EMPLEO DE RESIDUOS PLÁSTICOS RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Con el objetivo de mejorar el comportamiento en servicio de las mezclas asfálticas y/o aprovechar residuos urbanos o industriales se han realizado numerosas investigaciones a lo largo de la historia. La mayoría de las experiencias realizadas a nivel mundial respecto a la incorporación de diferentes productos o aditivos se han efectuado sobre ligantes asfálticos siendo menor el número de experiencias realizadas sobre mezclas asfálticas.

Se denomina “incorporación por vía húmeda” a la incorporación del material elegido al ligante asfáltico en caliente (como modificador del mismo). La “incorporación por vía seca” se refiere a la incorporación del material elegido a la mezcla asfáltica ya sea como agregado o fibra. Diferentes autores han realizado trabajos vinculados a la temática en estudio: López-Vidriero Mata (1999), Sinan et al (2004), Punith et al (2007), Casey et al (2008), Fuentes Audén et al (2008) incorporaron los plásticos por vía húmeda mientras que Zoorob et al (2000) y Rondon Quintana et al (2009) lo hicieron por vía seca, tanto unos como otros concluyen que las mezclas obtenidas presentan un mejoramiento del comportamiento mecánico, fundamentalmente, frente a las deformaciones permanentes. Se destaca además que en el grupo de investigación del Laboratorio Vial del IMAE-FCEIA-UNR, ya se han llevado a cabo con anterioridad proyectos similares empleando cenizas volantes en mezclas asfálticas, Martínez et al (1997), caucho reciclado de neumáticos descartados en asfaltos y mezclas asfálticas, Martínez et al (2007), y polietileno reciclado en mezclas asfálticas, Angelone et al (2012).

MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

En este trabajo se presenta un estudio sobre mezclas asfálticas modificadas con la adición “por vía seca” de residuos plásticos en distintas formas (escamas, pellets, chips). Los elementos seleccionados para realizar esta experiencia se muestran en la Figura 2.

El criterio de dosificación y metodología de compactación de probetas fueron presentadas por Angelone et al (2012) en trabajos anteriores. Básicamente, para la dosificación se considera un porcentaje de adición de plástico base en peso respecto a la mezcla total y según sea su comportamiento durante la etapa de elaboración (trabajabilidad) se procede a incrementarlo o disminuirlo. En total se proponen tres porcentajes de adición por cada tipo de plástico.

En cuanto al procedimiento de incorporación de los plásticos a la mezcla se adopta como modalidad una muy similar a la empleada en mezclas con fibras. Esto es factible de realizar puesto que ambos presentan formas similares y se encuentran a temperatura ambiente. Dicho procedimiento puede sintetizarse en los siguientes pasos:

- Calentamiento de áridos (170°C) y asfalto (155°C),
- Adición de plásticos (a temperatura ambiente) al árido caliente, mezclado,
- Adición de asfalto (155°C),
- Homogeneización, colocación en horno (160°C) y remezclado a la media hora,
- Transcurrida media hora más, nueva homogeneización y compactación de probetas.

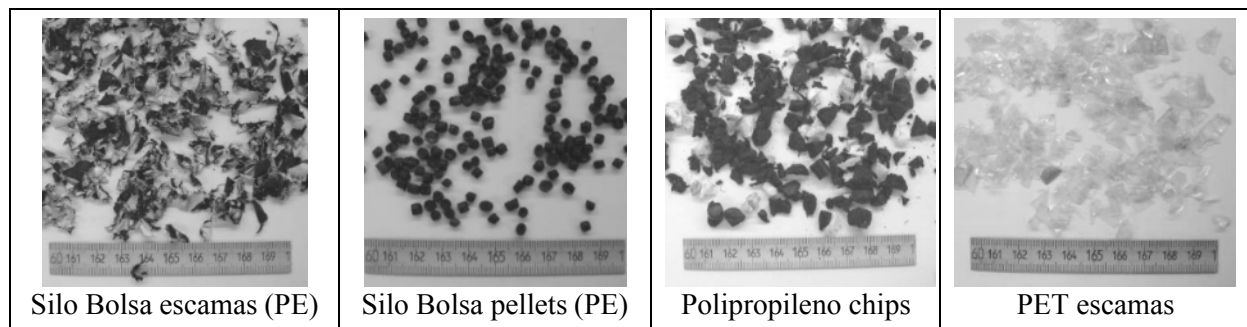


Figura 2: Materiales reciclados empleados

Se evalúan en total seis mezclas diferentes: dos se toman como parámetros de comparación: una elaborada con asfalto convencional CA30 (mezcla base a la que se incorpora el material reciclado), considerada como límite inferior y otra elaborada con asfalto modificado tipo AM3, considerada como límite superior respecto a la calidad o valor considerado como esperado en una mezcla modificada. A las cuatro mezclas restantes se le incorporan los distintos plásticos por vía seca, ver Figura 2, cuyas dosificaciones se presentan en la Tabla 1. Cabe destacar que cuando se trabajó con las mezclas con agregado de plásticos se aumentó el contenido de asfalto a 5% para lograr un buen recubrimiento de los áridos.

Tabla 1: Composición de las mezclas asfálticas (% aporte en peso)

Componente	CA30 AM3	Silo Bolsa Escamas (polietileno)			Silo Bolsa pellets (polietileno)			Polipropileno chips			PET escamas		
Nomenclatura	CA30 AM3	x%SBE			x%SBP			x%PP			x%PET		
12-19 mm	26.63	26.04	25.48	24.92	26.60	26.60	26.60	26.60	26.60	26.60	26.04	25.48	24.92
6-12 mm	14.27	13.95	13.65	13.35	14.25	14.25	14.25	12.31	10.38	11.09	13.95	13.65	13.35
0-6 mm	53.26	52.08	50.96	49.84	51.20	49.20	47.20	53.14	53.07	50.36	52.08	50.96	49.84
Cal	0.95	0.93	0.91	0.89	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.93	0.91	0.89
Asfalto CA30/AM3	4.90	5.00 (CA30)			5.00 (CA30)			5.00 (CA30)			5.00 (CA30)		
Plástico	0.00	2.00	4.00	6.00	2.00	4.00	6.00	2.00	4.00	6.00	2.00	4.00	6.00

RESULTADOS OBTENIDOS

En la Tabla 2 se presentan algunas características para las distintas mezclas asfálticas estudiadas. Analizando los valores se observa que la densidad teórica máxima es mayor en las mezclas base y disminuye a medida que aumenta el porcentaje de adición de plástico. La misma tendencia se observa para la densidad Marshall. Respecto al volumen de vacíos, en líneas generales aumentan con la adición de plásticos. La normativa seguida exige límites entre el 3% y 5% para probetas compactadas con 75 golpes, con lo cual se observa que algunas de ellas no cumplen con la exigencia. En particular, cabe destacar que no se realizaron mezclas con contenidos mayores a 2% de PET debido a que sus altos valores de porcentaje de vacíos ya lo ubican fuera de norma, con lo cual se descarta su análisis. Para las probetas con 25 golpes la reglamentación indica como valores deseables de porcentaje de vacíos 7% o superior, todas verifican este límite. En cuanto a la estabilidad, respecto a las mezclas de control, las mezclas con silo bolsa en ambas formas superan o se encuentran dentro de los valores obtenidos para las primeras y las mezclas con PP presentan valores similares o menores. Se observa un aumento de su valor con el aumento del contenido de silo bolsa; para las mezclas con PP se produce un efecto opuesto, su valor disminuye con el aumento de la adición de plástico. En el caso de la fluencia se observa un comportamiento de tendencia similar a lo enunciado para la estabilidad. Los valores de la relación estabilidad-fluencia son similares para todas las mezclas con adición de silo bolsa (escamas y pellets), con dispersiones del orden del 10%. Las mezclas con PP presentan una reducida relación E/F respecto a las mezclas de control.

Tabla 2: Comparativa Resultados de Ensayos

	AM3	CA30	2%SBE	4%SBE	6%SBE	2%SBP	4%SBP	6%SBP	2%PP	4%PP	6%PP	2%PET
Dens.Teór Máx (g/cm³)	2.58	2.59	2.50	2.42	2.36	2.47	2.43	2.33	2.50	2.40	2.30	2.54
Dens.Marshall (g/cm³)	2.49	2.49	2.39	2.30	2.23	2.39	2.30	2.24	2.35	2.23	2.11	2.38
Vacíos 75golpes (%)	4	4	5	5	6	3	5	4	6	7	8	9
Vacíos 25golpes (%)	9	7	8	8	8	7	8	7	9	10	10	11
Estabilidad (N)	17701	15736	18406	19301	22708	17210	20456	20601	16660	13421	10907	-
Fluencia (mm)	5.9	6.0	5.9	8.1	8.6	6.9	7.6	8.2	13.3	11.1	9.9	-
E/F (N/mm)	3010	2608	3119	2374	2633	2490	2691	2504	1257	1213	1105	-

Resistencia a la tracción Indirecta (RTI): Para obtener este parámetro se lleva a cabo un procedimiento de ensayo muy similar al indicado en EN- 12697-23 (2003): Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt. Part 23: Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens, a 10°C y a una tasa de deformación constante de 6.35 mm/min. A partir del mismo se obtiene también la Energía de Fractura (EF) como el área bajo la curva tensión vs deformación vertical. Este parámetro ha sido referido como un buen indicador de la resistencia a fisuración por fatiga y por temperatura de las mezclas asfálticas. La Tabla 3 muestra los resultados encontrados. En general, se observa una disminución de la resistencia con al aumento del contenido de plástico. Los valores son, en la mayor parte de las muestras, inferiores a los de las mezclas de control. La Energía de Fractura aumenta con el aumento del contenido de SBE y disminuye con el aumento del contenido de PP. Respecto a la mezcla con CA30, las mezclas con silo bolsa presentaron mayor energía y las mezclas con PP presentaron valores menores.

Resistencia Conservada (susceptibilidad a la acción del agua): Para el ensayo se preparan dos probetas Marshall para el grupo seco (acondicionamiento 24hs a 25°C al aire) y dos para el grupo húmedo (acondicionamiento 24hs a 60°C en agua). Se calcula el Índice de Resistencia

Conservada (IRC) del grupo húmedo respecto del seco en función de los resultados del ensayo de resistencia a la tracción indirecta (RTI) a una temperatura de 25°C y a una velocidad constante de deformación vertical de 50 mm/min. La Figura 3 muestra una gráfica con los valores obtenidos. La especificación usualmente usada en Argentina exige un valor del IRC mínimo del 80%. Todas las mezclas cumplen con lo exigido.

Tabla 3: Resistencia a la Tracción Indirecta y Energía de fractura

	AM3	CA30	2%SBE	4%SBE	6%SBE	2%SBP	4%SBP	6%SBP	2%PP	4%PP	6%PP
RTI (MPa)	1.9	2.0	1.7	1.7	1.5	2.2	2.1	1.7	1.8	1.6	1.0
EF (KJ/m³)	64	56	57	62	69	67	76	74	55	52	46

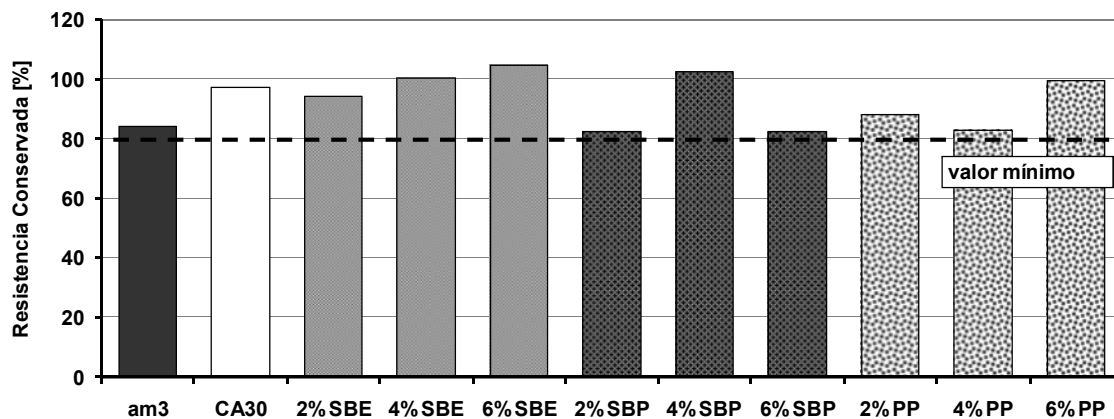


Figura 3: Resistencia Conservada

Módulo Dinámico: Su obtención se realiza a partir de la metodología planteada por Martínez et al (2009) en trabajos anteriores. En particular se evalúa la variación del comportamiento de las distintas mezclas analizándolas a 5°C y 60°C a 10Hz (Figura 4). Se observa en las probetas de SBE una muy importante reducción de la susceptibilidad térmica a medida que aumenta el contenido de material incorporado, con comportamiento similar al de la mezcla asfáltica con AM3, en algunos casos incluso mejor. Las mezclas con SBP reducen también la susceptibilidad térmica en menor medida. La mezcla que presenta el comportamiento menos aceptable es aquella con PP, que incluso para algunos porcentajes presenta mayor susceptibilidad térmica y valores de módulo menores que la mezcla base con CA30.

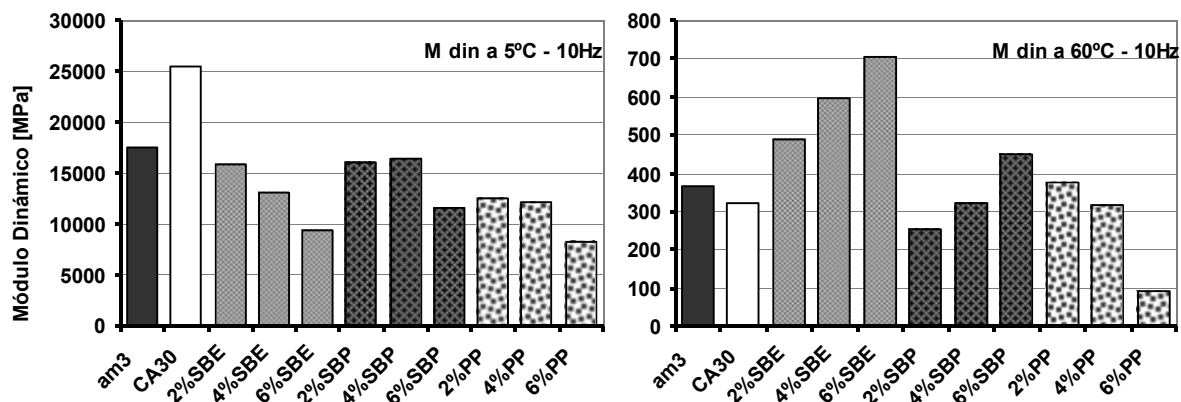


Figura 4: Módulo dinámico a 5°C y 60°C, 10 hz

Comportamiento en Deformación Permanente: La susceptibilidad de las mezclas asfálticas a la deformación permanente o plástica bajo cargas repetidas se evalúa de acuerdo a la norma EN-12697-22: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 22: Wheel tracking, para probetas pequeñas en aire (2003) mediante la determinación de la profundidad de huella proporcional a los 10000 ciclos (relación entre el ahuellamiento a los 10000 ciclos y el espesor inicial de la probeta). Además se realiza el ensayo de punzonado propuesto por Doh et al (2007) e implementado por Angelone et al (2011), por el cual se pretende simular en laboratorio la acción de la carga inducida por el neumático a muy baja velocidad, para un estado crítico de altas temperaturas (60 °C), mediante la determinación de la resistencia a la penetración, Sd. La Figura 5 muestra gráficas comparativas con ambos ensayos en donde se observa que, respecto a las mezclas de base, todas las mezclas presentan mejor comportamiento frente a las deformaciones permanentes. Se observa una marcada reducción del ahuellamiento en las mezclas con plásticos, siendo más notoria en aquellas con silo bolsa. En cuanto al ensayo de punzonado se concluye que a mayor valor de Sd, menor ahuellamiento para todas las mezclas con adición de plásticos. A su vez comparando las mezclas base entre sí se tiene que para igual resistencia Sd menor deformación en la mezcla con AM3. De ambos ensayos surge que es de esperar un mejor comportamiento frente al ahuellamiento para las mezclas con adición de plásticos

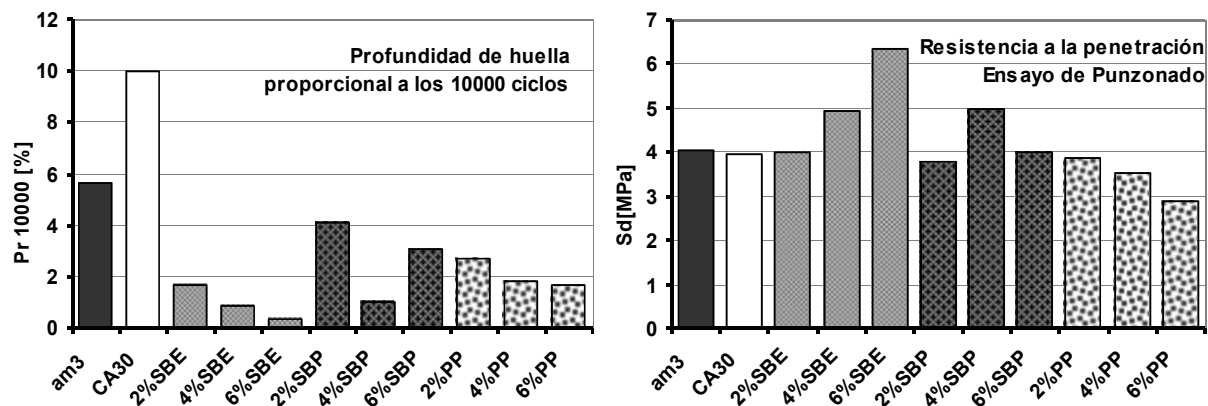


Figura 5: Wheel Tracking Test y Ensayo de Punzonado

Creep: La compliance en creep $D(t)$ se define como la relación entre las deformaciones dependientes del tiempo y la tensión axial para un material visco-elástico sujeto a una carga constante. La compliance en creep $D(t)$ se determina por tracción indirecta (TI) a carga constante con el mismo equipo experimental usado para la determinación del módulo dinámico, en este estudio a 10°C. En la Figura 6 (izq) se muestra el resultado para las mezclas estudiadas. Se observa que el valor de la Compliance (Dt) es menor para las mezclas con adición de plásticos respecto a las elaboradas con asfalto CA30 y AM3, lo cual implica mezclas más rígidas (esto se ve reflejado en el ensayo WTT donde las mezclas son menos susceptibles al ahuellamiento)

Comportamiento a fatiga: Para evaluarlo se aplica un criterio de estimación simplificado propuesto por Medani y Molenaar (2000) a partir de los resultados del ensayo de creep. En la Figura 6 (der) se observa que las vidas de fatiga son bastantes similares para estas mezclas. En general, la vida de fatiga es mayor en las mezclas de control a valores altos de deformación mientras las mezclas con plásticos tienen mayores vidas de fatiga a valores bajos de deformación.

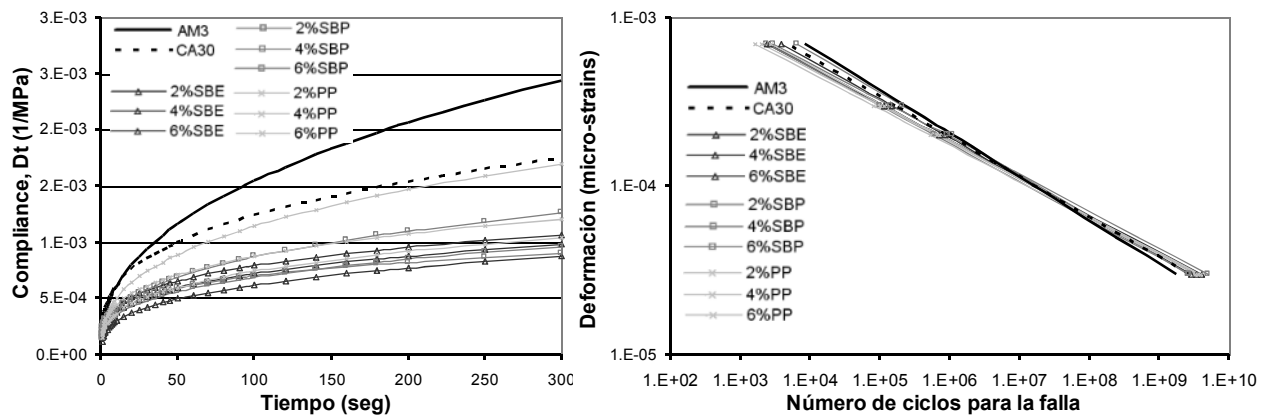


Figura 6: Compliance en Creep y Fatiga

CONCLUSIONES

Como conclusiones finales del trabajo puede enunciarse que:

Se observa una mejora, respecto a la mezcla de control CA30, de las propiedades de las mezclas con adición de plástico en su comportamiento en deformación permanente, a excepción del PET (debería probarse una molienda más fina del mismo y otras composiciones granulométricas de la mezcla asfáltica).

En el comportamiento a fatiga, respecto a la mezcla de control CA30, la tendencia observada es la misma para todas las mezclas, independientemente del tipo de plástico que se considere: la vida es menor a valores altos de deformación y mayor a valores bajos de deformación.

En particular, de todos los plásticos estudiados, el mejor desempeño se presenta en las mezclas elaboradas con adición de silo bolsa en escamas. En particular, las que poseen un porcentaje de adición de alrededor del 4% (más cercano al 3%). Las acciones futuras involucran proseguir con el estudio sobre este tipo de plásticos, mejorando la dosificación (evaluarla en términos de ensayo Marshall para determinación de contenido óptimo de ligante) y ampliando el análisis sobre otros parámetros. Además, se prevé el estudio del “Análisis de ciclo de vida” (LCA) con el fin de evaluar los costos materiales y de impacto ambiental que se producen entre dejar el residuo plástico en rellenos, quemarlos o reciclarlo en escamas, pellets y/o chips, así como cuidar la limpieza de los materiales que pudieran contener productos que puedan dañar el asfalto. Cabe señalar que las conclusiones alcanzadas son pertinentes para los materiales considerados en este estudio y que las mismas podrían cambiar para otras formulaciones o residuos utilizados.

REFERENCIAS

- Angelone, S., Cauhapé Casaux, M., Borghi, M.; Martínez, F. (2012). Reuse of Waste Polyethylene from Silo Bags in Asphalt Mixtures. 2nd ISAP. Brasil.
- Angelone S., Martínez F., Cauhapé Casaux M., Andreoni R., Andreoni S. y Balestrini G. (2011). Ahuellamiento. Desarrollo de una metodología para el control en obra de mezclas asfálticas. *Revista Carreteras*. Vol LV. No 203, ISSN 03250296

- Casey, D., McNally, C., Gibney, A., Gilchrist, M. D. (2008). Development of a recycled polymer modified binder for use in stone mastic asphalt. *Resources, conservation and Recycling*, No 52, p. 1167-1174.
- Centro de Información Técnica. Manejo de los residuos plásticos en diferentes partes del mundo. (2007). Boletín Técnico Informativo N° 5.
- Fuentes-Audén, C., Sandoval, J. A., Jerez, A., Navarro, F. J., Martínez-Boza, F. J., Partal, P., Gallegos, C. (2008). Evaluation of thermal and mechanical properties of recycled polyethylene modified bitumen. *Polymer Testing*, No 27, p. 1005-1012.
- González, G. (2010). Residuos sólidos urbanos en Argentina. Tratamiento y disposición final. Situación actual y alternativas futuras. Área de pensamiento estratégico. Cámara Argentina de la Construcción.
- Hinislioglu, S., Agar, E. (2004). Use of waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix. *Materials Letters*, No. 58, p. 267-271.
- López-Vidriero Mata, E. (1999). Empleo de plásticos reciclados de la automoción como aditivos en betunes asfálticos. *Mapfre Seguridad*, No. 73, p. 21-27.
- Martínez, F., Andreoni, R., Poncino, H. (1997). Utilización de cenizas volantes como filler de mezclas asfálticas. IX CILA. Paraguay.
- Martínez, F., Angelone, S., Andreoni, R., Martinuzzi, R. (2007). Caracterización de mezclas asfálticas modificadas con adición de caucho reciclado de neumáticos descartados. XIV CILA. Cuba.
- Martinez, F., Angelone, S. (2009). The estimation of the dynamic modulus of asphalt mixtures from creep test results. 7th Int. RILEM Symposium on Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials (ATCBM09), Rhodes, Greece.
- Medani, T., Molenaar, A. (2000). Estimation of Fatigue Characteristics of Asphaltic Mixes using Simple Tests. *Heron*. Vol 45, No3, p. 155-165.
- Punith, VS, Veeraragavan, A. (2007). Behavior of asphalt concrete mixtures with reclaimed polyethylene as additive. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol 19. No 6, p. 500-507.
- Sabsay, D. A., Di Paola, M. E., Quispe Merovich, C, Marcó L. y Diverges, D. M. (2005). Residuos sólidos urbanos: Recomendaciones para la construcción de marcos regulatorios provinciales y acuerdos intermunicipales.