

## ALTERNATIVAS DE MEZCLAS ASFALTICAS ANTIRREFLEJO DE FISURAS CON ASFALTOS CON ALTA TASA DE NFU

Segura Adrián <sup>1</sup>, Botasso Gerardo <sup>2</sup>, Raggiotti Belén <sup>3</sup>, Rebollo Oscar <sup>4</sup>, Zapata Ferrero Ignacio <sup>5</sup>

<sup>1</sup> CINTEMAC. UTN FRC. Córdoba, Arg. asegura@frc.utn.edu.ar

<sup>2</sup> LEMAC. Centro de investigaciones viales. UTN FRLP. CIC-PBA. La Plata, Arg.  
gbotasso@frlp.utn.edu.ar

<sup>3</sup> CINTEMAC. UTN FRC. Córdoba, Arg. braggiotti@frc.utn.edu.ar

<sup>4</sup> LEMAC. Centro de investigaciones viales. UTN FRLP. CIC-PBA. La Plata, Arg.  
orebollo@frlp.utn.edu.ar

<sup>5</sup> LEMAC. Centro de investigaciones viales. UTN FRLP. CIC-PBA. La Plata, Arg.  
izapata@frlp.utn.edu.ar

### Resumen

La patología de la reflexión de fisuras en pavimentos asfálticos es uno de los problemas más frecuentes en las tareas de rehabilitación. Retardar la aparición de las mismas contribuye a mitigar los efectos del deterioro por ingreso de agua a capas inferiores, entre otros. Durante años se ha estudiado distintos materiales que presenten una mejor performance ante esta situación mencionada. Por otro lado, los residuos son mundialmente un problema, y particularmente los neumáticos fuera de uso (NFU), que requieren de estudios que permitan evaluar su reuso. Por ello, en el presente trabajo se ha evaluado distintas mezclas como retardantes de la fisuración refleja, las cuales han sido elaboradas con asfaltos modificado con alta tasa de NFU y polímero virgen. La valoración del comportamiento de ellas, ha permitido compararlas y estimar cuál de ellas presenta el mejor desempeño para demorar la reflexión de las fisuras en superficie.

**Palabras Clave:** Neumáticos, asfalto, antirreflejo fisuras.

### 1 Introducción

Los neumáticos usados en la actualidad, algunas toneladas, son utilizados como combustible en hornos en algunos países, también se depositan en naves y espacios abiertos a la espera de un tratamiento de “recauchutado” que no siempre llega. Esta acumulación da lugar a la aparición de roedores e insectos como mosquitos e incendios de difícil control. Por otro lado, si estos neumáticos tienen como destino final su disposición en vertederos, esto trae inconvenientes como: debido a su forma y composición, los neumáticos no pueden ser fácilmente compactados, ni se descomponen y, por lo tanto, consumen cantidades considerables de espacio en los vertederos. [1].

Por otro lado, la durabilidad en la rehabilitación de pavimentos se ve comprometida por los problemas que ocasiona la aparición temprana de las fisuras reflejas. Estas se pueden definir como la discontinuidad que aparece en la capa asfáltica dispuesta como refuerzo en un pavimento existente, es decir que resulta de una prolongación ascendente de la fisura que presenta la capa inferior y que puede no corresponder a fallas del paquete estructural [2]. Dichas fisuras, no sólo un problema estético sino fundamentalmente una vía posible para la entrada del agua hacia las capas inferiores del pavimento, ocasionando degradaciones que afectan la regularidad superficial y por lo tanto la comodidad y la seguridad en el tránsito; sin embargo, resulta importante mencionar que esencialmente generan una disminución en la capacidad portante de las capas

inferiores [3]. Una fisura subyacente a la capa asfáltica puede actuar de dos formas independientes para provocar su reflexión. Una de ellas es cuando se verifica roce entre la capa de refuerzo y el pavimento existente, lo cual genera a baja temperatura una concentración de tensiones en la región de la extremidad de la fisura que provoca a su vez la abertura de una nueva fisura en la capa de refuerzo.

Una mezcla para retardo de fisura deberá ser capaz de disipar las tensiones generadas deformándose sin romperse. Para lograrlo la misma se ha elaborado con asfalto modificado más elástico. Por esto, en la presente investigación se obtuvo un asfalto de alta viscosidad al incorporar alto contenido de neumáticos fuera de uso (NFU) y con éste se elaboró mezclas para evaluarlas, compararlas con otras y estimar cual presenta la mejor capacidad antes mencionadas.

## 2 Materiales y métodos

Los materiales utilizados para el desarrollo experimental, han sido polvo de caucho de NFU, ligante asfáltico convencional y modificado (AM3) y agregados. El NFU presenta un tamaño obtenido del pasante del tamiz N°25, es decir 0,7 mm. Estos materiales han sido proporcionados por empresas del medio local. En la Figura 1, se observa la granulometría de polvo de NFU utilizada.

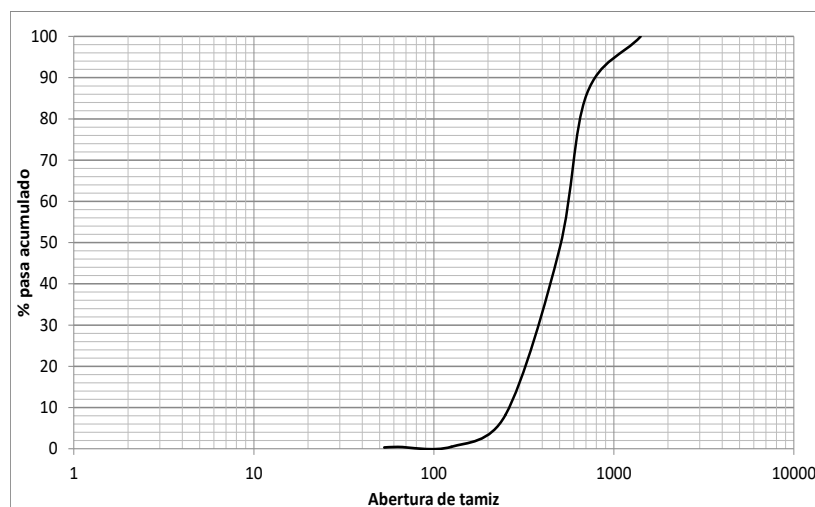


Figura1. Granulometría del polvo de NFU

El ligante asfáltico en el que se realizó la incorporación del NFU fuere caracterizado, de acuerdo a la norma IRAM 6835 [4] como un CA-30. Para ello se determinó la penetración, punto de ablandamiento y viscosidad rotacional a 60 °C y 135 °C. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1.

La incorporación del polvo de NFU fue realizado por vía húmeda. El dispersor fue el equipo utilizado para realizar la dispersión y se lo muestra en la Figura 2.



Figura 2. Equipo dispersor

La dispersión se realizó incorporando el polvo de neumático en el asfalto colocado en la cuba inferior a temperatura para comenzar el mezclado. La incorporación se realizó en aproximadamente 5 minutos y el tiempo total en el equipo fue de 60 minutos. La velocidad a la cual se elaboraron las dispersiones estuvo entre 7000-7500 RPM y la temperatura entre 180-190 °C. Posteriormente se procedió a la determinación de la penetración, punto de ablandamiento, viscosidad rotacional a 135 °C y 170 °C.

En los asfaltos utilizados se realizó los ensayos antes mencionados de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad rotacional, también un barrido de temperatura con el reómetro de corte dinámico siguiendo la norma AASHTO M320-10 [5], ver Figura 3.



Figura 3. Reómetro de corte dinámico

Los agregados utilizados para la elaboración de las diferentes mezclas estudiadas son de tamaños 0:3, 0:6 y 6:12. En las Figuras 4, 5 y 6 se observan las curvas granulométricas de cada uno de ellos.

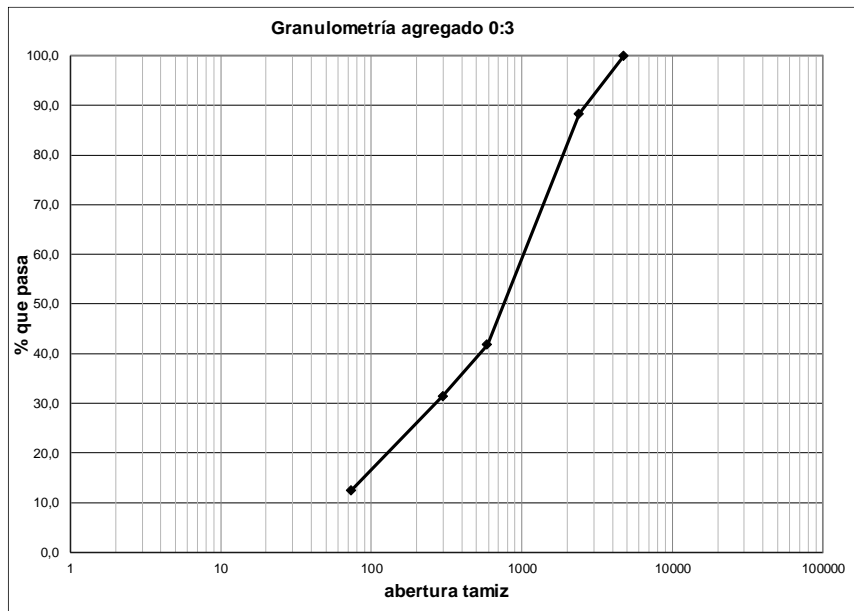


Figura 4. Granulometría del agregado 0:3

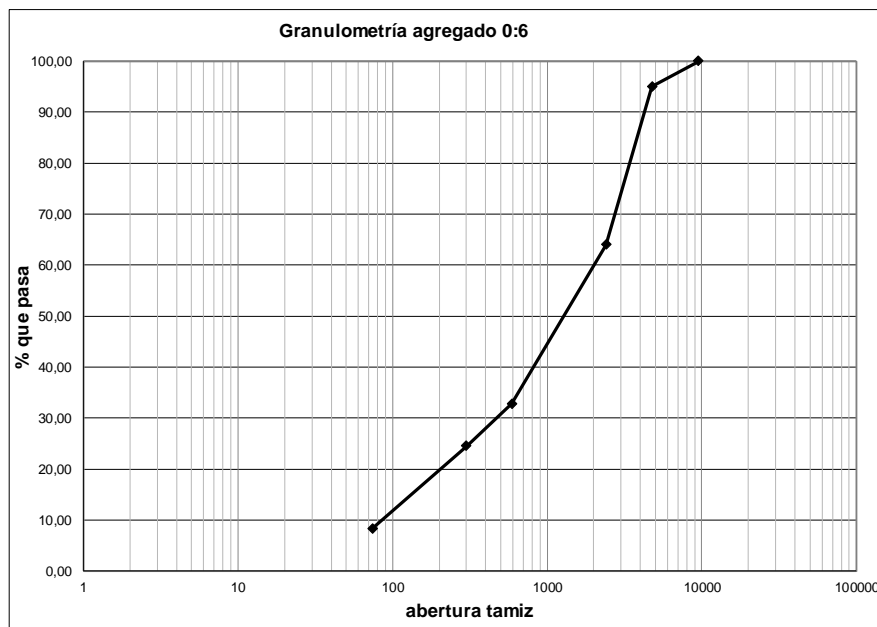


Figura 5. Granulometría del agregado 0:6

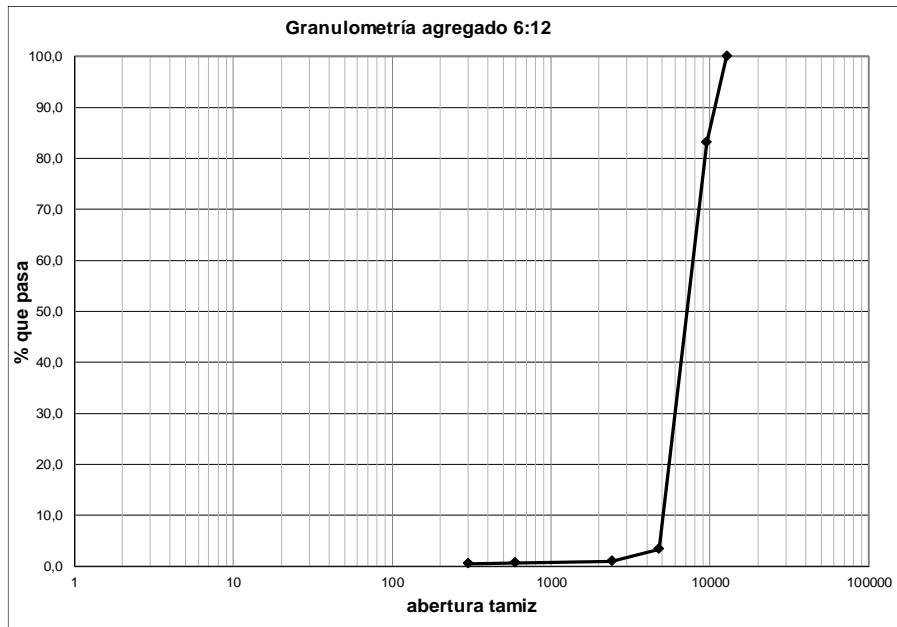


Figura 6. Granulometría del agregado 0:6

Estos agregados se utilizaron para la conformación de las diferentes mezclas para luego ser evaluadas. Estas, surgieron como consecuencia de las experiencias realizadas y la bibliografía, siendo una Arena Asfalto (AA), un Microconcreto discontinuo en caliente (MAC) y una del Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas [6] denominada CEDEX. En la AA y MAC las mezclas de los agregados se realizaron por proporciones y en CEDEX se la armó, previo separar en fracciones por tamizado el agregado. La elaboración de éstas tres, fue con la finalidad de valorar y comparar entre ellas distintos parámetros para inferir su desempeño como retardantes de la fisuración refleja. Las granulometrías de dichas mezclas son las que se presentan en las Figuras 7, 8 y 9.

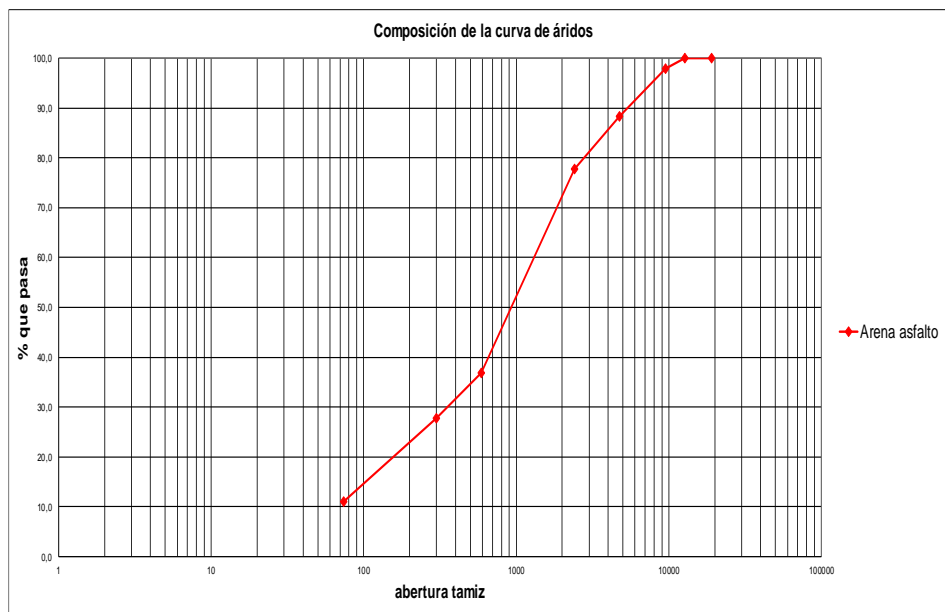


Figura 7. Granulometría de mezcla Arena Asfalto (AA)

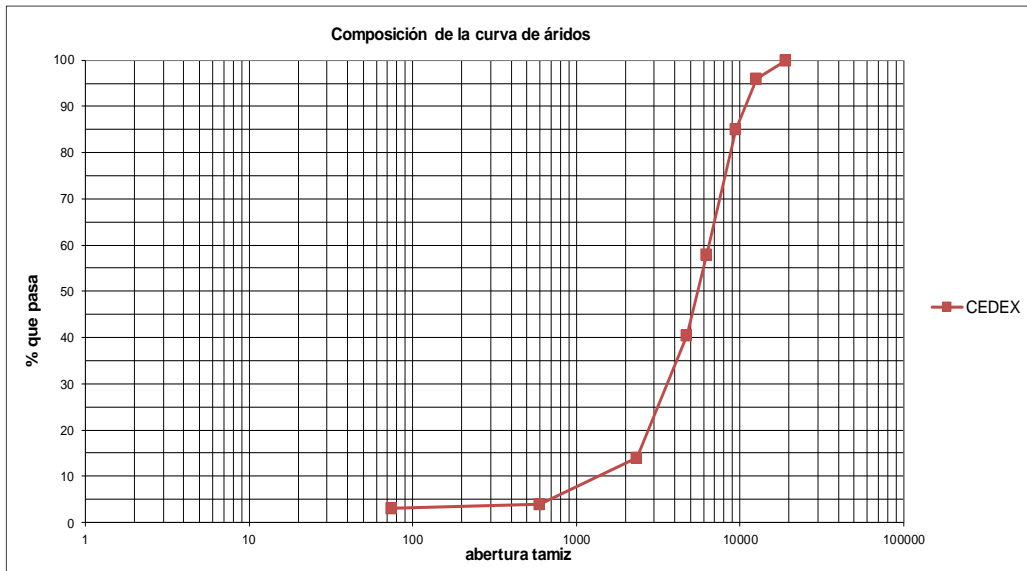


Figura 8. Granulometría de mezcla CEDEX

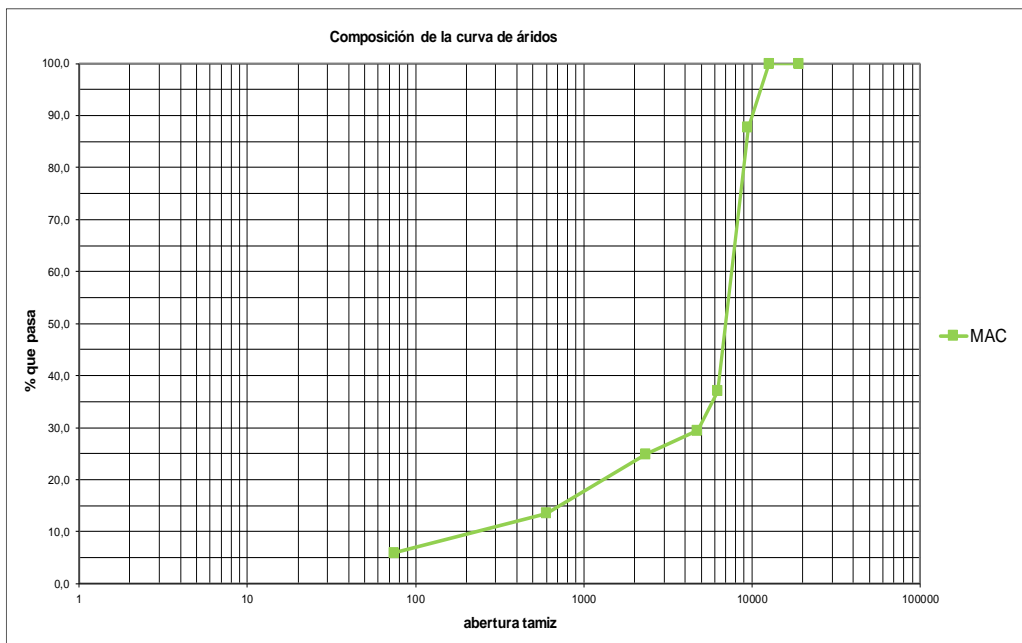


Figura 9. Granulometría de mezcla Microconcreto discontinuo en caliente (MAC)

En cuanto a la dosificación de la cantidad de ligante a incorporar en cada una de las mezclas, fue establecido según los desarrollos y trabajos llevados a cabo anteriormente, bibliografía y buscando que ciertos parámetros se encontraran dentro de valores esperados. Las mezclas que se elaboraron fueron las granulometrías antes mencionadas con los diferentes ligantes, quedando las combinaciones que se presentan en la Tabla 1.

Tabla1. Designación de mezclas asfálticas elaboradas

Ligante/Granulometría	AA	MAC	CEDEX
CA30	AA CA30	-	-
CA30+24%NFU	AA NFU	MAC NFU	CEDEX NFU
AM3	AA AM3	MAC AM3	CEDEX AM3

Luego se fabricaron probetas Marshall de cada una de las siete mezclas, como se puede ver en la Figura 10, para la determinación de los parámetros mecánicos y volumétricos y la resistencia a daños por humedad inducidos, ver Figura 11, siguiendo la norma AASHTO T283-89[7]. Asimismo, se fabricaron probetas para la determinación del ahuellamiento, como se muestra en la Figura 12, siguiendo la norma ENE-EN 12697-22 [8] para cada una de las mezclas, ver Figuras xx respectivamente.



Figura 10. Probetas Marshall



Figura 11. Acondicionamiento de probetas y ensayo de resistencia a daños por humedad inducidos



Figura 12. Probetas y ensayo de ahuellamiento WTT.

### 3 Resultados y discusión

Los resultados de los ensayos de los asfaltos se muestran en la Tabla 2, en donde se ha incorporado la temperatura alcanzada para 1 kPa de  $G^*/\text{sen}\delta$ , siendo éste el primer criterio de SUPERPAVE. En la Figura 13 se muestra la variación de éste último para las diferentes temperaturas obtenido en el reómetro.

Tabla 2. Ensayos en asfaltos

Ligante/Ensayo	Penet. (0.1 mm)	PA (°C)	Visc. 60 °C dPa.s	Visc. 135 °C mPa.s	Visc. 170 °C mPa.s	$G^*/\text{sen}\delta$ , 1 KPa. (°C)
CA30	60	48	3450	503	-	70
CA30+24%NFU	28	67	-	10459.4	2200	88
AM3	52	76	-	-	580	82

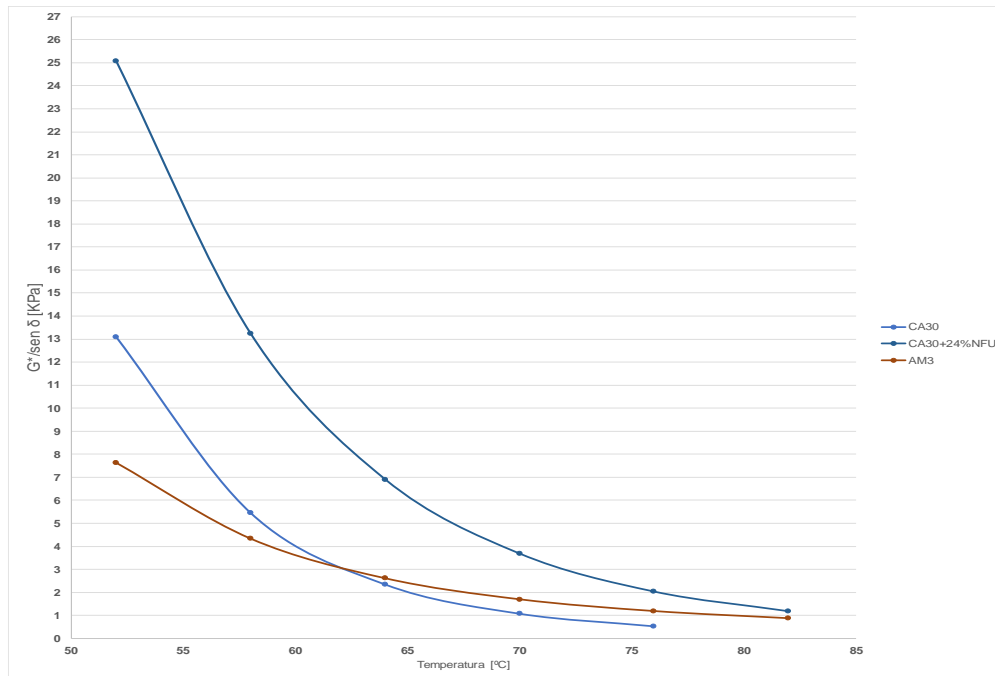


Figura 13. Variación de  $G^*/\text{sen}\delta$  a diferentes temperaturas para los tres ligantes asfálticos

Los resultados obtenidos muestran una fuerte modificación del asfalto base al incorporar una tasa del 24 % de NFU. Esto se evidencia en un aumento del punto de ablandamiento, disminución de la penetración y en el aumento de la temperatura para el valor de 1 kPa de  $G^*/\text{sen}\delta$ . Estos



resultados para el asfalto con NFU permiten mencionar que son los esperados para lograr un mejor desempeño elástico del ligante en la elaboración de mezclas.

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de parámetros volumétrico y mecánicos, realizados a las diferentes mezclas siendo éstos: la densidad, vacíos, relación de los esfuerzos tensional (TSR) entre los grupos de probetas acondicionadas y las que no se las acondicionó, y ahuellamiento. Asimismo, de los tres primero se muestran gráficos para su comparación en las Figuras 14, 15 y 16. El último parámetro se ha construido un gráfico para cada grupo de mezcla, ver Figuras 17, 18 y 19.

Tabla 3. Ensayos en las mezclas asfálticas

Mezcla/Ensayo	Ligante (%)	Densidad (Kg/dm <sup>3</sup> )	Vacíos (%)	TSR (%)	Ahuellamiento (mm)
AA CA30	6.8	2.378	3.73	84	2.62
AA AM3	6.8	2.363	3.53	101	1.75
AA NFU	6.8	2.292	5.05	75	2.50
MAC AM3	5.0	2.398	4.11	90	1.92
MAC NFU	8.0	2.358	2.84	82	1.29
CEDEX AM3	5.0	2.331	5.17	105	2.11
CEDEX NFU	8.0	2.228	6.86	81	2.72

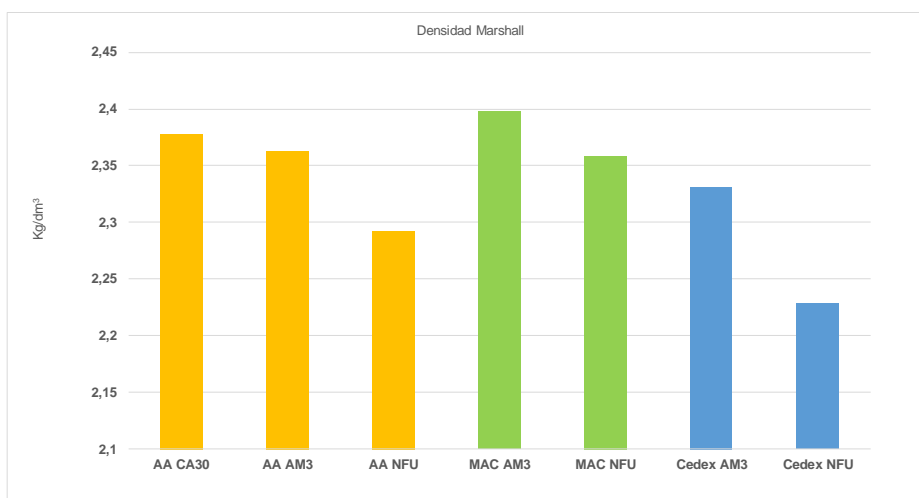


Figura 14. Densidad de cada tipo de mezcla

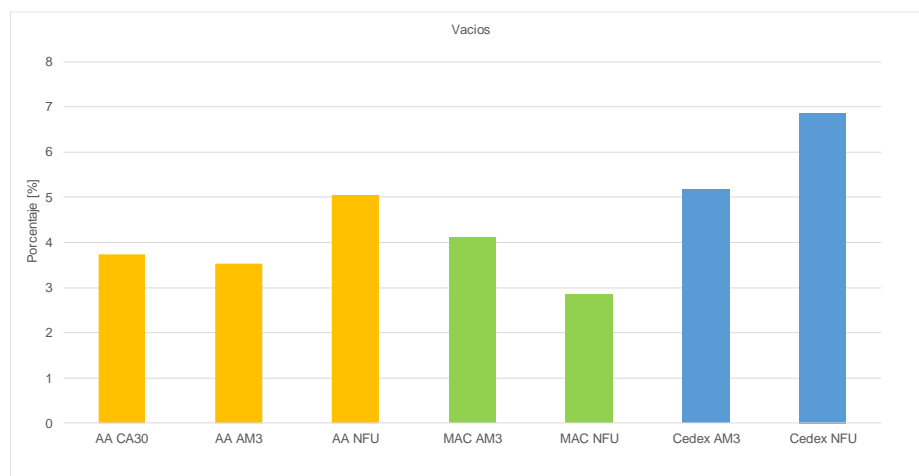


Figura 15. Vacíos de cada tipo de mezcla

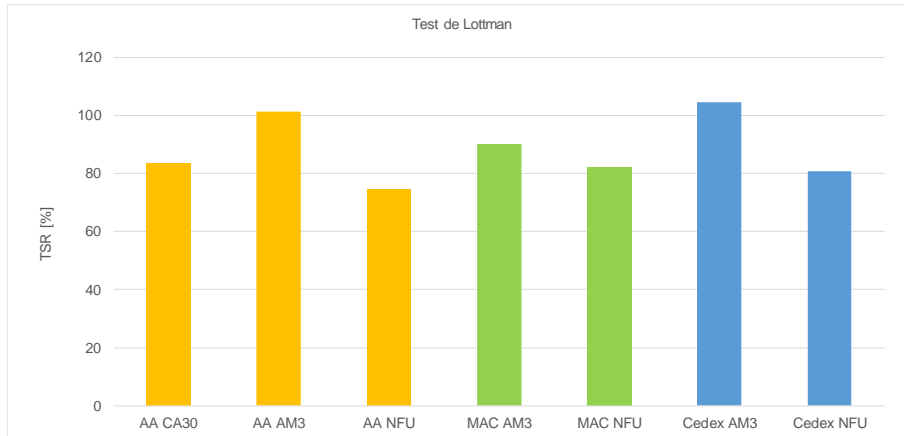


Figura 16. Test de Lottman de cada tipo de mezcla

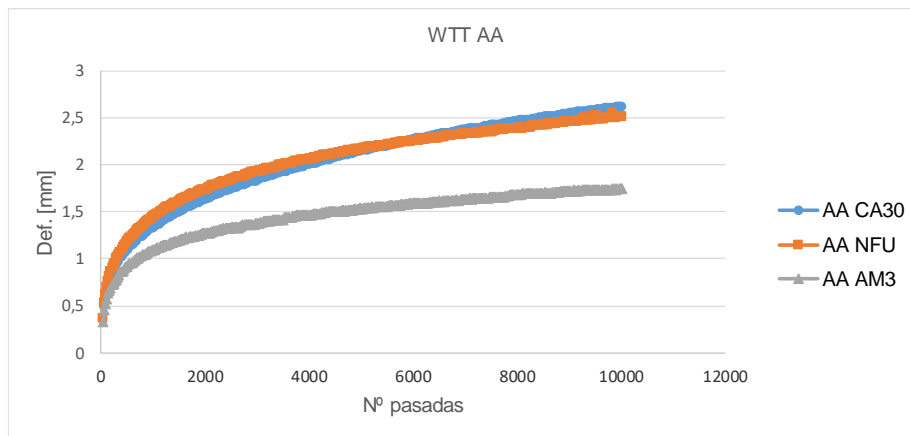


Figura 17. Curva de ahuellamiento para las mezclas AA para tipo de ligante asfáltico

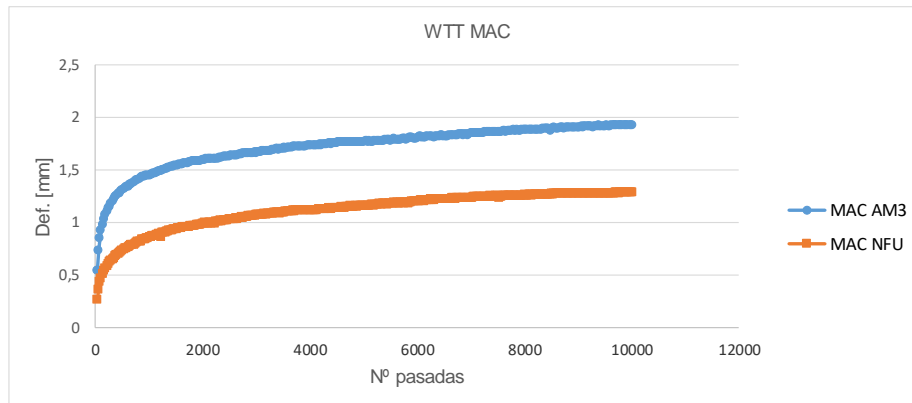


Figura 18. Curva de ahuellamiento para las mezclas MAC para tipo de ligante asfáltico

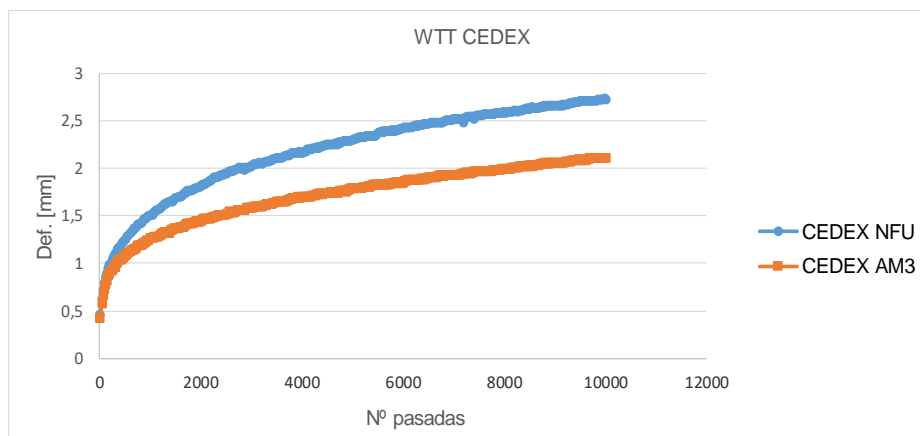


Figura 19. Curva de ahuellamiento para las mezclas CEDEX para tipo de ligante asfáltico

En las densidades de las AA se observa que la con NFU presenta un valor menor, mayor vacío, menor TSR respecto de las otras dos mezclas AA. Asimismo, el menor ahuellamiento de las tres AA se obtuvo para la realizada con AM3.

En los MAC las densidades se encuentran cercanas entre el AM3 y NFU, siendo levemente inferior la mezcla con NFU, y los vacíos de éste último es menor. Esto se estima que esté relacionado con su estructura granular permitiendo alojar el NFU sin disipar la energía de compactación y también por el mayor porcentaje de ligante. Asimismo, en éste, la menor presencia de vacíos muestra un TSR con un valor aceptable y cercano al obtenido al MAC AM3. Por otro lado, el ahuellamiento muestra un valor inferior en el MAC NFU, esto puede estar relacionado a su estructura granular que interactúa con el ligante con NFU y a la elevada tasa del mismo.

En cuanto a CEDEX la con NFU presenta una menor densidad y vacíos mayores, esto se estima por su granulometría, y se evidencia una menor resistencia TSR y un mayor ahuellamiento. En éste último, además se observa que la curva muestra una tendencia de crecimiento. En cambio, en las otras mezclas se observa un menor crecimiento en todo el tramo último de la curva, siendo esto más evidente en los MAC.

#### 4 Conclusiones

- Los parámetros evaluados como la penetración, punto de ablandamiento,  $G^*/\text{sen}\delta$  en el ligante con NFU, muestran que se ha logrado una fuerte modificación en el asfalto base.
- Una mayor temperatura para el CA30+24% NFU para el  $G^*/\text{sen}\delta$ , evidencia un mejor desempeño elástico y esto se ha trasladado a un mejor desempeño en el ahuellamiento y más evidente en el MAC NFU.
- La elaboración de los tres tipos de mezclas estudiados con asfalto con NFU muestran que en todas se produce una disminución de sus densidades. Esto se estima sea la respuesta que produce el efecto rebote del equipo de compactación por la presencia del NFU.
- El mayor valor de  $G^*/\text{sen}\delta$  en CA30+24% NFU no se ve reflejado en un menor ahuellamiento en la AA NFU. Se estima que dicha granulometría no es capaz de alojar la cantidad de NFU, generando una disipación mayor de energía en la compactación trasladándose a una mayor cantidad de vacíos, mayor ahuellamiento y un menor TSR.

- En MAC NFU el  $G^*/\text{sen}\delta$  en CA30+24% NFU, se evidencia en un menor ahuellamiento. Esto puede deberse a que la estructura granular del mismo puede alojar el NFU y este proporcionó una mejor respuesta frente a esta deformación.
- En CEDEX NFU se observa un ahuellamiento levemente mayor respecto con AM3, este puede deberse a su granulometría que proporciona mayor cantidad de vacíos, posee menor cantidad de finos que colabore con el mastic, generando una estructura con una menor capacidad de resistencia al ahuellamiento que el MAC.
- Evaluando los comportamientos en cuanto al desempeño elástico del ligante, el ahuellamiento y TSR en las mezclas, es posible inferir que el MAC NFU presentaría un desempeño adecuado ante la propagación de fisuras. Siendo esto último un comportamiento a continuar evaluando mediante otros ensayos y modelos que permita evidenciar más precisamente dicho desempeño.

## 5 Referencias

- [1] Herbert F. Lund. (2003) *Manual Mc Graw-Hill de Reciclaje, Volumen I*.
- [2] Regis Rodríguez y G. Montestruque (1989). *Implementación computacional de un modelo para la previsión de la propagación de fisuras en recapados asfálticos*. S. Pablo. Brasil, C.P.A. (Comisión Permanente del Asfalto), Tomo 1.
- [3] Carlos A. Francesio (2001). *El control de la fisuración refleja*. XI CILA – Congreso Iberoamericano del asfalto, Lima, Perú.
- [4] IRAM 6835. *Asfaltos para uso vial. Clasificación por viscosidad – Requisitos*.
- [5] AASHTO M320-10. *Performance – Graded Asphalt Binder*.
- [6] Centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX). Ministerio de Medio ambiente y de Fomento de España (2007). *Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas*.
- [7] AASHTO T 283-89. *Resistencia de mezclas bituminosas compactadas para daños por humedad inducidos*.
- [8] ENE-EN 12697-22. *Método de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Ensayo de rodadura*.