



El Hombre y la Máquina

ISSN: 0121-0777

maquina@uao.edu.co

Universidad Autónoma de Occidente
Colombia

COSSIO URÁN, EDWIN; GIRALDO VÁSQUEZ, DIEGO; CASTAÑO, NELSON
Efectos del envejecimiento térmico y del contenido de negro de humo en la resistencia al desgaste
abrasivo en seco del caucho natural
El Hombre y la Máquina, núm. 36, enero-junio, 2011, pp. 115-122
Universidad Autónoma de Occidente
Cali, Colombia

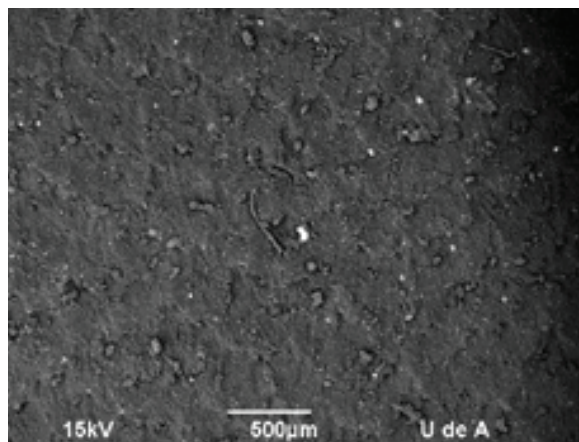
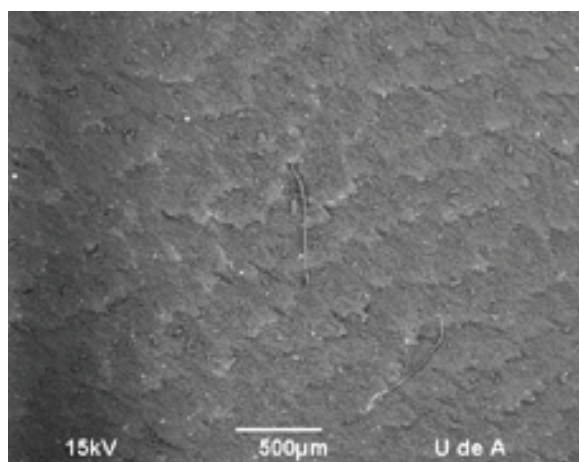
Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47821598011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Efectos del envejecimiento térmico y del contenido de negro de humo en la resistencia al desgaste abrasivo en seco del caucho natural



EDWIN COSSIO URÁN *1,2
DIEGO GIRALDO VÁSQUEZ 2
NELSON CASTAÑO 2,3

Resumen

Se estudió la resistencia a la abrasión de una mezcla de caucho natural y SBR, la cual fue reforzada en tres diferentes contenidos de negro de humo (25, 50 y 75 PHR). Los cauchos fueron envejecidos durante 72 horas en tres condiciones de temperatura diferentes (temperatura ambiente, 70 °C y 100 °C). Se fabricaron probetas con las tres mezclas en las tres condiciones de envejecimiento, a las cuales se efectuaron pruebas normalizadas de tensión, compresión, compression-set, densidad y dureza. También se realizó una prueba de abrasión en seco según la norma DIN 53516. La adición de negro de humo y las condiciones de envejecimiento influyeron en las propiedades mecánicas de las

* edwin.cossio@mineros.com.co

1 Mineros S.A., Medellín, Colombia

2 Dpto. de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Colombia.

3 Extrusiones S.A., Itagüí, Colombia.

Fecha de recepción : Abril 26 /11 • Fecha de aceptación: Mayo 30 /11

mezclas en las pruebas de tensión y dureza, acorde con los resultados encontrados en la literatura. Sin embargo, su efecto en la resistencia al desgaste y en los mecanismos de desgaste detectados en las superficies mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) son objeto de discusión en el presente trabajo. El análisis de las superficies desgastadas mediante MEB permitió determinar que el mecanismo de desgaste predominante es el de formación de ondas, aunque se encontraron evidencias aisladas de los mecanismos de formación de rollos y formación de partículas de caucho que son desprendidas de la superficie.

Palabras claves: Mezclas de caucho natural, abrasión de cauchos, tribología de cauchos.

Abstract

The wear strength of a Natural Rubber (NR) and Styrene-Butadiene Rubber (SBR) blend was studied. The blend was reinforced with 3 different charges of carbon black (25, 50 y 75 PHR). The rubber was thermal aged under 3 different temperatures (room temperature, 70 °C y 100 °C) during 72 h. The Test specimen was made with the blends and after the specimens were thermal aged under 3 different conditions. The tension, hardness, compression-set, compression and density test was carried out according to the specific standard. Also was carried out a dry abrasion test according to the DIN 53516 standard. The mechanical properties, tension and hardness, of the blends were affected by the carbon black (CB) addition and the aging condition, agree to the found literature. Although, its effect over wear strength and the wear mechanism found on

the abraded surface by scanning electron microscopy (SEM) are studied in the present article. The abraded surface analysis by scanning electron microscopy (SEM) showed that the main wear mechanism was the wear by formed ridges, although also was found wear by roll formation and small particles detached from the abraded surface.

Keywords: Rubber blends, rubber wear, rubber tribology.

Introducción

El desarrollo de nuevos materiales aditivos y procesos en la industria del caucho ha generado la incursión de este tipo de materiales en aplicaciones cada vez más exigentes. Un claro ejemplo es el uso de componentes fabricados en caucho sometidos a desgaste abrasivo en industrias como la minera, el sector transporte, el calzado, por citar algunas de las más dinámicas. Por estas razones, es pertinente avanzar en la comprensión de su comportamiento mecánico y tribológico ya que diversos factores, como la cantidad de negro de humo usado como carga reforzante y las condiciones de envejecimiento en compuestos de caucho vulcanizado han sido identificados como algunos de los parámetros determinantes en la respuesta mecánica y tribológica de una formulación de caucho. [1, 2]

En condiciones abrasivas, los cauchos pueden desgastarse debido a mecanismos tales como microcorte, formación de ondas, formación de rollos y adhesión al contracuerpo [3], así como la existencia de fallas subsuperficiales debidas a los defectos en el caucho por suciedad y defectos de fabricación.[1] Los trabajos de índole científico y tecnológico que han abordado el fenómeno de desgaste abrasivo de cauchos vulcanizados han determinado que durante el desgaste abrasivo por deslizamiento la energía requerida

para generar la rotura del material juegue un papel fundamental en la resistencia al desgaste; sin embargo, otros fenómenos químicos y térmicos existentes durante el contacto caucho-contracuerpo así como la presencia de partículas reforzantes y la interacción entre los diversos componentes de una mezcla también afectan de manera significativa la respuesta del material, de tal manera que a la fecha no es posible encontrar una relación clara entre las propiedades mecánicas y la resistencia al desgaste de este tipo de compuestos.

Otro aspecto relevante se relaciona con el papel del envejecimiento térmico al cual se encuentran sometidos los cauchos durante su servicio, pues si bien es conocido que en el envejecimiento se presentan cambios tales como la formación de nuevos enlaces o el rompimiento de los enlaces existentes [2], no hay un criterio universalmente aceptado sobre el efecto del envejecimiento en las propiedades tribológicas de los cauchos.

En este marco de referencia, el trabajo aquí presentado estudia una mezcla de SBR y caucho natural reforzada con tres cantidades diferentes de negro de humo, las cuales fueron sometidas a tres temperaturas distintas de envejecimiento con el fin de identificar las principales relaciones entre estos factores y las propiedades mecánicas y tribológicas en condiciones predominantemente abrasivas.

Descripción del trabajo

Se analizaron las condiciones de trabajo de cauchos sometidos a desgaste abrasivo en una empresa extractora de oro de aluvión; con esta información se adelantó una revisión bibliográfica que permitió establecer una formulación objeto de estudio, cantidades a utilizar de negro de humo como carga reforzante, condiciones de vulcanización y temperaturas de envejecimiento. Se eligió una mezcla de SBR con caucho

natural, formulación ampliamente usada en componentes sometidos a desgaste abrasivo por la combinación de propiedades de resistencia al desgarre y resistencia a la fatiga que ofrece. En las Tablas 1 y 2 se muestran la formulación, las cantidades de negro de humo y las condiciones de envejecimiento seleccionadas.

Tabla 1. Formulación utilizada

Componente	Partes	Componente	Partes
SBR 1712	68,75	Oxido de zinc	5,00
Caucho Natural	50,00	Acido esteárico	1,00
N-550	Ver Tabla 2	TMTD	1,20
TMQ	2,00	MBT	0,60
6 PPD	2,00	MBTS	0,60
Cera parafínica	2,00	AZUFRE	0,50

Tabla 2. Carga de negro de humo utilizada y condiciones de envejecimiento para las muestras.

Tipo de negro de humo	Carga de negro de humo	
	Carga (PHR)	Temperatura de envejecimiento durante 72 horas (°C)
N-550	25	T ambiente
	50	70
	75	100

Los tres tipos de mezclas fueron preparadas en un molino de rodillos y se obtuvieron sus reometrías según la norma ASTM D5289 a 160°C. Con base en las reometrías se definieron las condiciones de vulcanización y se vulcanizaron las distintas probetas por medio de moldes con cavidades con las geometrías estandarizadas.

El envejecimiento de las probetas se realizó en hornos Binder FD23 y VD23 de acuerdo con la norma ASTM D573, cuidando de iniciar el envejecimiento de las muestras vulcanizadas después de 24 horas de salir de la plancha de vulcanización, acondicionando el horno a la temperatura de envejecimiento con anterioridad. Las piezas se dejaron en reposo después del envejecimiento

durante 16 horas y las pruebas mecánicas fueron realizadas dentro de las siguientes 96 horas luego de haber extraído las probetas del horno.

Las tres mezclas fueron analizadas mediante espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) en un equipo marca Perkin Elmer modelo Spectrum One, a 24°C, ocho barridos con una resolución de 4 cm⁻¹ dentro de un rango de número de onda (n) de 4000 a 450 cm⁻¹. También se efectuó un análisis de termo-gravimetría (TGA) en un equipo Q500 TA instruments dotado de un detector DTGS; con nitrógeno como gas inicial se sometió la muestra a una rampa de 20°C/min hasta 550°C, luego se cambió el gas a oxígeno y se dejó la muestra cinco minutos sin variar la temperatura, para luego aplicar una rampa de 10 °C/min hasta 800 °C.

A cinco muestras de caucho de cada condición de ensayo se le efectuaron pruebas de tensión bajo la norma ASTM D638 en un equipo Autograph AG-250 kNG marca Shimadzu, aplicando una velocidad de desplazamiento de 500 mm/min hasta la fractura. Se determinó la densidad bajo la norma ASTM D792 con el uso de una balanza analítica AND – HR 200 y la dureza Shore A bajo la norma ASTM D2240, con un durómetro manual marca CEAST. Todas las pruebas se realizaron dentro de las condiciones de temperatura y humedad relativa especificadas en las respectivas nor-

mas. Es pertinente indicar que todas las pruebas mecánicas se ejecutaron dentro de las 96 horas después de terminado el envejecimiento.

Los materiales fueron sometidos a pruebas de desgaste abrasivo en un abrasímetro marca Zwick modelo 6102, el cual se acoge a la norma DIN 53516. Las condiciones de carga y tipo de abrasivo se definieron a partir de la norma con muestras de 16 mm de diámetro y 6 mm de espesor, el recorrido total fue de 40 m bajo una carga de 10 N, utilizando papel abrasivo No P60 referencia KK511X el cual cuenta por partículas abrasivas de óxido de aluminio. De cada prueba se realizaron tres repeticiones y se registró la pérdida de volumen a partir de la pérdida de masa, al emplear una balanza modelo Mettler AE 200. Las superficies desgastadas se analizaron con microscopía electrónica de barrido en un equipo JEOL JMS-AX505HA.

Resultados

Los resultados de FTIR y TGA de los tres materiales se muestran en la Figura 1. El análisis por FTIR muestra que el negro de humo no afectó el espectro obtenido para los componentes elastoméricos de la mezcla y la correlación entre los espectros de las diferentes mezclas utilizadas, y el análisis por TGA confirma que las mezclas cuentan con tres diferentes cantidades de negro de humo.

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos de tensión se muestran en la Tabla 3 y en la Figura 2.

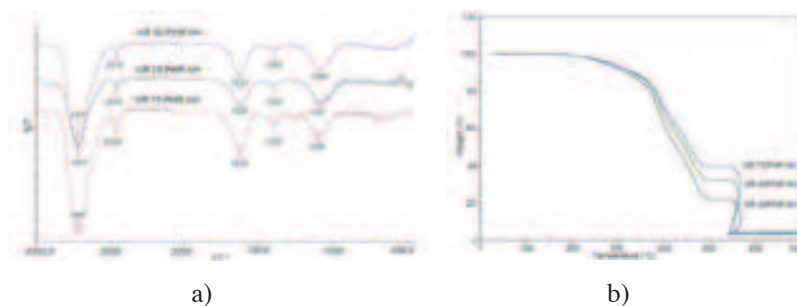


Figura 1. Curvas de FTIR yb TGA; a) Análisis por FTIR del material de las mezclas luego de la extracción del negro de humo. b) Análisis por TGA de las mezclas.

Tabla 3. Resultados de resistencia a la tensión y deformación a la rotura

Carga (PHR)	Resistencia a la tensión (mpa)			Deformación en la rotura (mm/mm)		
	Temperatura de envejecimiento (°C)			Temperatura de envejecimiento (°C)		
	TA	70	100	TA	70	100
25	4.52 ± 0.04	6.19 ± 1.07	6.53 ± 0.90	11.04 ± 0.69	11.49 ± 1.03	11.04 ± 0.69
50	10.41 ± 1.61	11.36 ± 1.98	11.33 ± 1.64	11.36 ± 1.64	10.84 ± 1.43	11.33 ± 1.64
75	14.62 ± 0.20	14.49 ± 1.46	13.04 ± 1.54	5.56 ± 0.53	9.37 ± 0.25	5.56 ± 0.53

Los resultados de los ensayos de tensión muestran que el contenido de negro de humo incrementa la resistencia a la tracción y la rigidez de las muestras, en las tres condiciones de envejecimiento. La temperatura de envejecimiento incrementa la rigidez de las tres formulaciones, pero en menor grado, a medida que se aumenta el contenido de negro de humo. En las muestras con 25 y 50 PHR la temperatura de envejecimiento aumentó la resistencia a la tracción de las muestras, mientras que con 75 PHR el efecto fue el contrario.

La deformación en la rotura fue similar en las muestras con 25 y 50 PHR en las tres condiciones de envejecimiento, pero la muestra con 75 PHR sí vio disminuida su capacidad de deformación hasta la rotura en las tres condiciones de envejecimiento. El efecto de la temperatura de envejecimiento en esta capacidad de deformación de cada formulación no fue significativo, ya que sólo en el material con 70 PHR envejecido a 70 °C se presentó un incremento en la deformación a la rotura, comparado con el envejecimiento a temperatura ambiente y 100 °C.

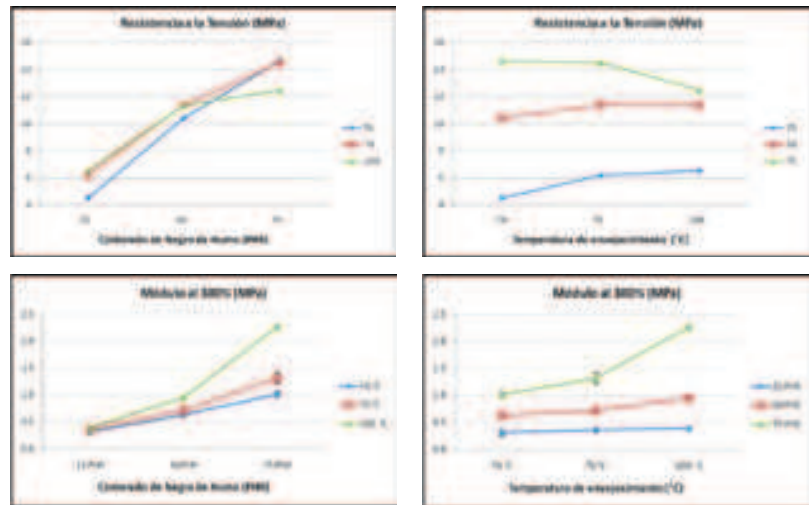


Figura 2. Efecto de la adición de negro de humo y la temperatura de envejecimiento en las propiedades mecánicas a tensión de las tres formulaciones de caucho.

Los resultados de la densidad y dureza de los materiales evaluados se observan en la Tabla 4.

Como era de esperarse, la densidad y la dureza del caucho aumentan con el contenido de negro de humo. El envejecimiento no afectó la densidad del material, pero sí incrementó la dureza en 5 a 6 grados Shore A, si se comparan

Tabla 4. Resultados de densidad y de dureza.

Carga (PHR)	Densidad (gr/cm3)			Dureza (Shore A)		
	Temperatura de envejecimiento (°C)			Temperatura de envejecimiento (°C)		
	TA	70	100	TA	70	100
25	1.07 ± 0.00	1.07 ± 0.00	1.07 ± 0.00	40 ± 1	42 ± 1	45 ± 1
50	1.13 ± 0.00	1.13 ± 0.00	1.14 ± 0.01	52 ± 1	53 ± 1	58 ± 1
75	1.17 ± 0.02	1.18 ± 0.00	1.18 ± 0.00	62 ± 1	63 ± 0	67 ± 1

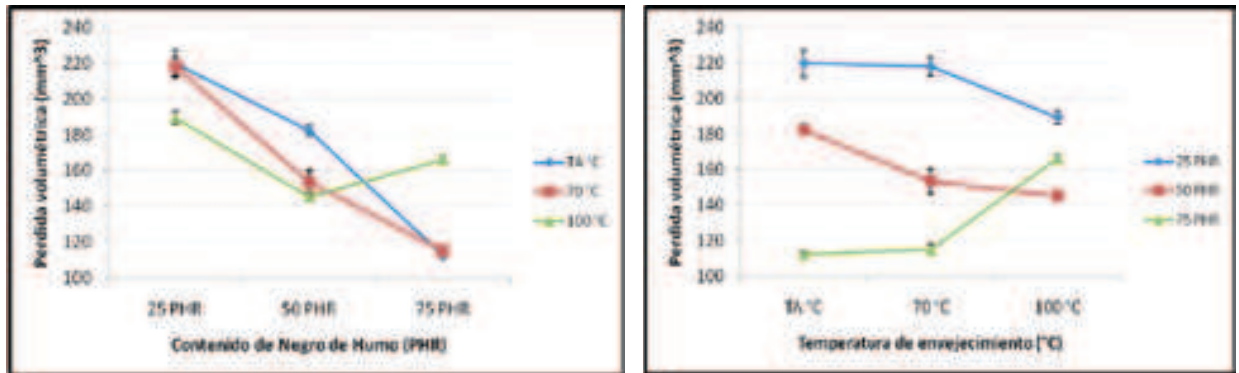


Figura 3. Efecto de la cantidad de negro de humo y la temperatura de envejecimiento en la pérdida de volumen por desgaste abrasivo.

las durezas de las muestras envejecidas a temperatura ambiente con las envejecidas a 100 °C.

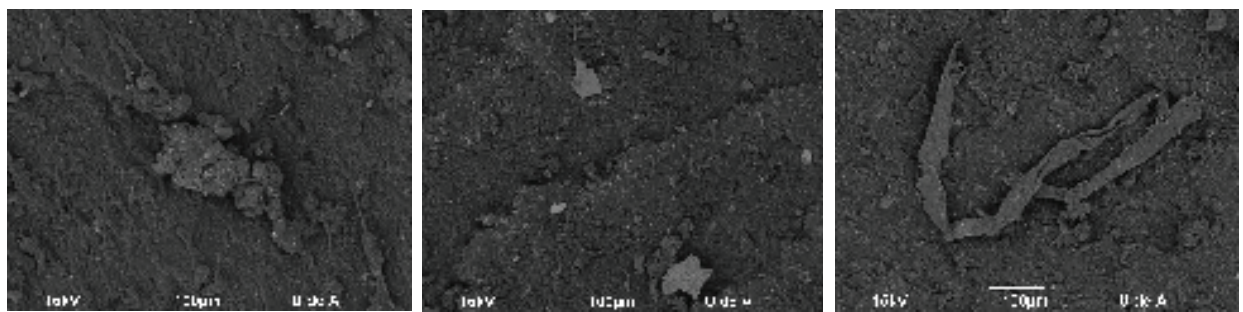
La Figura 3 muestra los resultados de pérdida de volumen al final de las pruebas de abrasión.

En la Figura 3 se observa cómo en ocho de las nueve condiciones, el contenido de negro de humo tiene el efecto de disminuir la pérdida de material por desgaste abrasivo, es decir, aumenta la resistencia al desgaste del compuesto; sin embargo, la muestra cargada con 75 PHR de negro de humo envejecida a 100 °C presenta una menor resistencia al desgaste que la muestra con 50 PHR envejecida en las mismas condiciones. El efecto de la temperatura de envejecimiento en la resistencia al desgaste del compuesto depende de la cantidad de carga reforzante en el compuesto: los materiales con 25 y 50 PHR mejoran su resistencia al desgaste abrasivo cuando

se incrementa la temperatura de envejecimiento, mientras que en el compuesto con 75 PHR el efecto es el opuesto, es decir, el compuesto disminuye su resistencia al desgaste con el aumento en la temperatura de envejecimiento.

En las Figuras 4 y 5 se observan los resultados de la microscopía electrónica de barrido (MEB) realizada a las muestras luego de las pruebas de desgaste abrasivo.

En las muestras envejecidas a temperatura ambiente, para las tres formulaciones, así como las muestras con 50 y 75 PHR envejecidas a 70 °C y la muestra con 75 PHR envejecida a 100 °C, se observan rollos aislados en la superficie, como evidencia de que el mecanismo de formación de rollos también se presenta en el tribosistema. En la Figura 4, la fotografía c) muestra con detalle un rollo encontrado en una de las superficies desgastadas.



a) 50PHR – 70 °C

h) 25 PHR – 100 °C

c) 75 PHR – Temperatura ambiente

Figura 4. Detalles de las superficies desgastadas. a) Partículas de caucho, b) partículas correspondientes a aditivos de la formulación, c) Rollo formado en la superficie.

En las muestras desgastadas también se aprecian partículas de caucho que fueron desprendidas pero que aún permanecen en las superficies, como la mostrada en la imagen a) de la Figura 4. Igualmente se detectan partículas pequeñas aleatoriamente distribuidas que corresponden a elementos dispersos provenientes de los aditivos utilizados, como las partículas que se aprecian en la imagen b) de la Figura 4.

En la Figura 5 se puede observar que el mecanismo de desgaste común en todas las condiciones de ensayo es la formación de ondas, aunque la cantidad de ondas y la profundidad de las mismas varía entre condiciones de ensayo. Las muestras con 25 PHR envejecidas a temperatura ambiente y a 70° C muestran menos ondas en su superficie que las muestras con 50 PHR y 75 PHR y que la muestra con 25 PHR envejecida a 100 °C. De igual

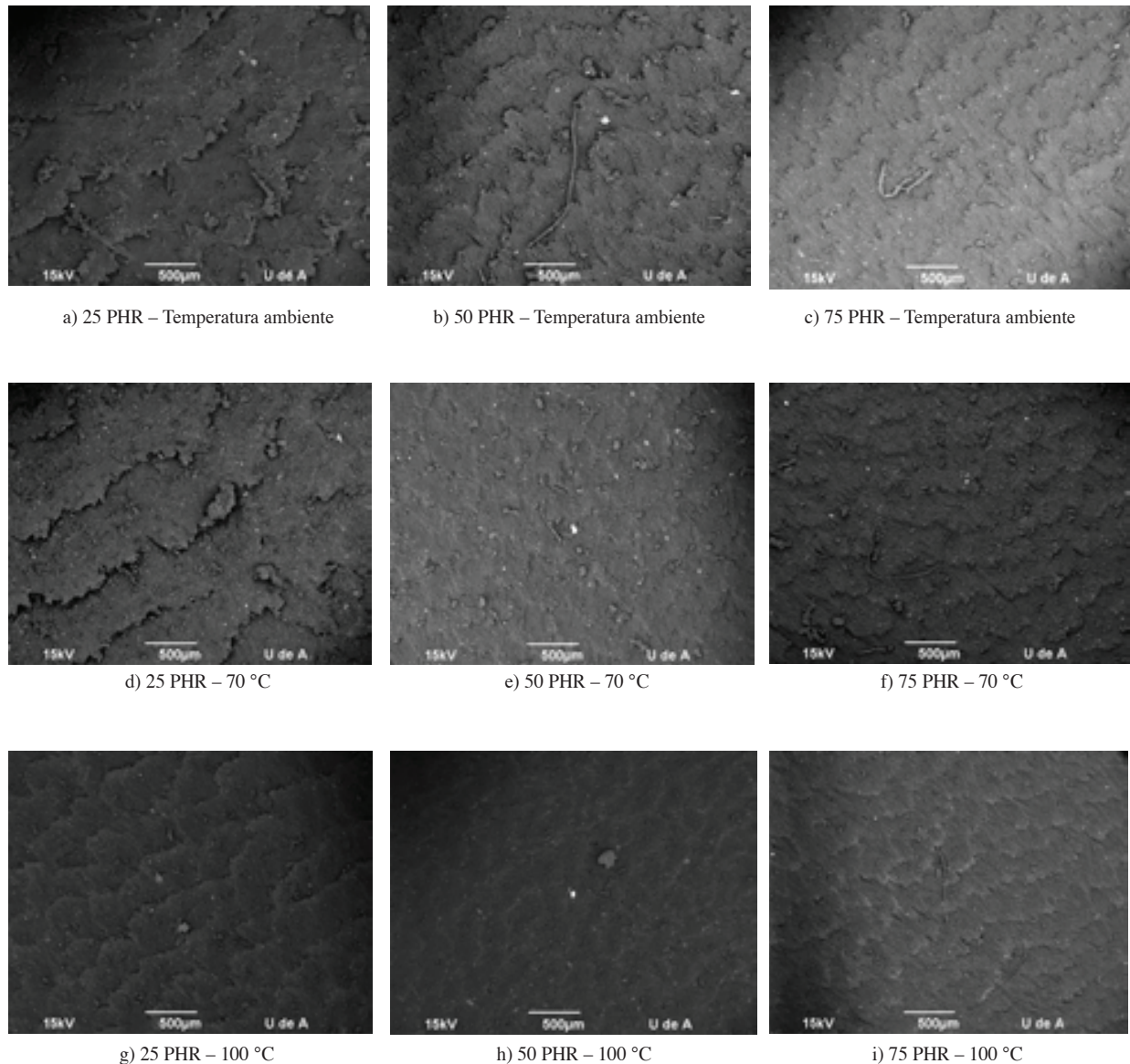


Figura 5. Aspecto de las superficies desgastadas de las diferentes mezclas luego de las pruebas de desgaste.

manera, las superficies desgastadas de los tres materiales envejecidos a 100 °C presentan ondas menos profundas que las superficies de los materiales envejecidos a temperatura ambiente y a 70 °C.

Discusión

El efecto del negro de humo en las mezclas de caucho natural y SBR fue el aumento de la resistencia a la tensión, de la rigidez y de la dureza Shore A, resultados que concuerdan con lo encontrado en la literatura. La temperatura de envejecimiento tuvo como efecto el aumento de la dureza Shore A y la rigidez en todas las mezclas y en todas las condiciones de reforzamiento, aunque no sucedió igual con la resistencia a la tensión ya que en las mezclas con 75 PHR de negro de humo el efecto de la temperatura de envejecimiento fue el de disminuir la resistencia a la tracción, es decir, que en las formulaciones con 75 PHR el efecto fue de degradación, mientras que en las mezclas con 25 PHR y 50 PHR el efecto fue precisamente el contrario. Dado que para las tres mezclas se obtuvieron las curvas reométricas y fueron vulcanizadas de acuerdo con esos resultados, la explicación para el comportamiento observado con el envejecimiento debe basarse en la mayor cantidad de partículas de negro de humo usadas como carga reforzante, pues fue el único parámetro variado. Es posible que la matriz polimérica constituida por la mezcla de SBR y caucho natural no logre compatibilizarse adecuadamente con esa cantidad de cargas reforzantes y que deban efectuarse variaciones en la formulación para buscar mejorar este comportamiento, pero para verificar esas ideas se deben efectuar nuevos trabajos experimentales que están por fuera del alcance de este trabajo.

El análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de desgaste abrasivo permite identificar que las dos muestras con mejor resistencia al desgaste son las dos muestras con la mayor resistencia a la tracción, pero este comportamiento no se observa para las demás muestras. La dureza Shore A tampoco ofrece una herramienta que permita identificar los materiales con mejor resistencia al desgaste, pues no hay una correlación entre ambos parámetros. Basados en el criterio de energía requerida para la rotura, el cual establece que en los cauchos sometidos a desgaste abrasivo la energía que se necesita ejercer sobre un material para producir su rotura en el ensayo de tracción es proporcional a su resistencia al desgaste abrasivo por la similitud con el proceso de desgarramiento, es posible observar que en el caso de los materiales estudiados en este trabajo este criterio no ofrece una relación válida. Es necesario entonces ahondar en los mecanismos de desgaste presentes en este tipo de sistemas caucho-partículas abrasivas deslizantes, evaluando otras interacciones de tipo químico y térmico, si bien en los ensayos realizados en este trabajo se usaron condiciones abrasivas controladas y los ensayos tuvieron una corta duración, lo cual no debe incrementar la temperatura significativamente. Además, las energías requeridas para la formación de rollos y de partículas de caucho no son cuantificadas en el modelo de energía de rotura, por lo tanto es necesario avanzar en la construcción y evaluación de modelos que consideren estos fenómenos.

Conclusiones

En los ensayos realizados no se consideró una relación directa entre la dureza Shore A, la rigidez y la resistencia a la tracción de los cau-

chos con su resistencia al desgaste abrasivo. Sólo pudo observarse una relación directa en los dos materiales con las mejores propiedades mecánicas y en el material con las propiedades mecánicas más bajas, pero en las otras seis condiciones de ensayo hubo resultados diversos.

El mecanismo de desgaste predominante fue la formación de ondas, aunque se presentaron evidencias de formación de rollos y desprendimiento de partículas de caucho. Estos mecanismos deben ser influyentes en la desviación observada de la dependencia del desgaste abrasivo con la energía de rotura, por lo cual es necesario efectuar cambios en el concepto que involucren esos otros mecanismos de desgaste, y así prever con mayor confiabilidad la vida útil de componentes de caucho sometidos a desgaste abrasivo. ⚙

Bibliografía

- [1] El-Tayeb, N. S. M. and R. M. Nasir (2007). "Effect of soft carbon black on tribology of deproteinised and polyisoprene rubbers." *Wear* 262(3-4): 350-361.
- [2] Mostafa A., Abouel-Kasem A., Bayoumi, M. R., El-Sebaie, M. G. (2008). The influence of CB loading on thermal aging resistance of SBR and NBR rubber compounds under different aging temperature. *Materials & Design*
- [3] Coran, Aubert Y., *Handbook of Plastics Technologies, Chapter 4 Elastomers. Digital Engineering Library @ McGraw-Hill* (www.digitalengineeringlibrary.com) Copyright © 2004 The McGraw-Hill Companies.
- [4] Baker Anne-Marie M. *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites. Chapter 1 Thermoplastics. Digital Engineering Library @ McGraw-Hill* (www.digitalengineeringlibrary.com) Copyright © 2004 The McGraw-Hill Companies.