

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE NEUMÁTICOS RECAUCHUTADOS BAJO CONDICIONES ESTABLES DE CARGA – VELOCIDAD EN BANCO DE PRUEBAS

STUDY OF THE PERFORMANCE OF RETREADED PNEUMATIC TIRES UNDER STEADY LOAD-SPEED CONDITION ON TESTING BENCH

Jose M^a López Martínez,
Doctor Ingeniero Industrial
Instituto Universitario de
Investigación del Automóvil,
INSIA-UPM

José Javier Páez Ayuso
Dr. Ingeniero Industrial
Instituto Universitario de
Investigación del Automóvil,
INSIA-UPM

Francisco Javier Sánchez Alejo
Dr. Ingeniero Industrial
Instituto Universitario de
Investigación del Automóvil,
INSIA-UPM

Adolfo Díaz Carrasco
Ingeniero Industrial
Instituto Universitario de
Investigación del Automóvil,
INSIA-UPM

Recibido: 28/03/08
Aceptado: 22/09/08

mental problem. The retreading of a percentage of these used tires for being re-used appears as a partial solution, but still, retreaded tires have poorer mechanical properties than the new ones. This paper gives a general idea of actual retreading methods and presents a study carried out to characterize two important factors that can cause tire breaking, that is, static stiffness and temperature.

RESUMEN

El transporte por carretera en países desarrollados, tanto de personas como de mercancías, provoca elevadísimas cifras de neumáticos usados cada año, lo que supone un problema energético y medioambiental de primer orden. El recauchutado de un porcentaje de estos neumáticos usados para su reutilización se presenta como una solución parcial al problema, pero el neumático usado presenta, todavía, unas características mecánicas inferiores al neumático nuevo. El artículo repasa los métodos actuales de recauchutado y presenta

un estudio realizado para caracterizar la rigidez estática y la temperatura de los neumáticos recauchutados, factores ambos que pueden provocar su rotura.

Palabras clave: Neumático; Recauchutado; Termografía; Rigidez estática

ABSTRACT

Road transportation on developed countries, both of passengers and goods, involves a huge figure of used pneumatic tires every year, what is a very important energetic and environ-

Key words: *Pneumatic tire; Retreading; Thermograph; Static stiffness*

1.- INTRODUCCIÓN

En España existen en la actualidad 28.531.183 vehículos (DGT, 2006), de los cuales 20.636.738 son automóviles y 2.479.222 son vehículos industriales. Estos vehículos recorren al año un total de 377.335 millones de kilómetros, correspondiendo a los primeros 272.317 millones de km y 52.332 millones de km los segundos. La movilidad de estos vehículos provoca que cada año se gasten Es-

pañía varias decenas de millones de neumáticos. Esta cifra implica un elevado volumen de negocio y, como es lógico, un importante problema medioambiental.

El tratamiento de los neumáticos al final de su vida útil se ha convertido en un problema de primera magnitud para las naciones desarrolladas. Una de las soluciones adoptadas desde hace ya muchos años es proceder a recauchutar un porcentaje de dichos neumáticos usados para conseguir ponerlos de nuevo en circulación.

Un neumático consta básicamente de cuatro partes:

- Carcasa, que está formada por varias capas textiles y otros compuestos que, colocados de forma específica, forman el armazón del neumático.
- Flancos o laterales del neumático, que ofrecen la elasticidad que el neumático necesita para absorber parte de las irregularidades de la carretera y dar confort de marcha.
- Talón, que es la parte inferior del flanco, encargado de unir el neumático a la llanta, y está formado por 2 aros de alambres trenzados recubiertos de goma.
- Banda de rodadura, que es la superficie de apoyo del neumático por encima de la carcasa. Está formada por una capa de goma que acaba en los dibujos o surcos que permiten la evacuación del agua y mejorar la tracción y frenado en superficies mojadas o irregulares.

El neumático usado presenta una banda de rodadura desgastada y una cierta pérdida de rigidez en sus flancos. Recauchutar un neumático significa adherirle una nueva banda de rodadura bajo unas determinadas condiciones. El resultado es que el neumático queda listo para su uso, con una vida útil similar a la de uno nuevo. A pesar de que se ha avanzado mucho en el estudio de las condiciones de recauchutabilidad de los neumáticos usados, y que en la actualidad presentan unos niveles de calidad mucho mayor de lo que venía

siendo habitual hace tan solo una década, no es inusual encontrar en nuestras carreteras rastros de neumáticos reventados. Debido a esta todavía menor fiabilidad, los neumáticos recauchutados deben someterse a los mismos niveles de calidad que aplican para el neumático nuevo y, por consiguiente, al mismo nivel tecnológico.

Las condiciones de recauchutado y la utilización de los neumáticos recauchutados para automóvil y vehículo comercial está legislada por los reglamentos de Ginebra 108 y 109 respectivamente.

En España existen en la actualidad unas 70 empresas que recauchutan neumáticos, con un volumen de producción y de generación de empleo de gran interés industrial. La mayoría

cauchutados por parte de los fabricantes condujo al desarrollo de un marco de colaboración entre la AER y el INSIA, bajo el cual se desarrollaron dos proyectos nacionales de investigación (PROFIT, 2002 – 2004). Posteriormente el INSIA ha proseguido los estudios, llegando a desarrollar una metodología de evaluación propia y original.

El presente trabajo describe los dos procesos que actualmente se utilizan para recauchutar neumáticos y presenta la citada metodología, que permite conocer con exactitud el estado estructural del neumático usado y, por consiguiente, el grado de recauchutabilidad y utilización posterior.

También ha permitido evaluar qué procedimiento de recauchutado es



Figura 1. Estructura interior de un neumático

de ellas son miembros de la *Asociación Española de Neumáticos Reciclados*, AER.

El *Instituto Universitario de Investigación del Automóvil*, INSIA, perteneciente a la *Universidad Politécnica de Madrid*, además de participar en las reuniones de Ginebra donde dichos reglamentos fueron generados, es el único laboratorio acreditado por ENAC y autorizado por el Ministerio de Industria para la realización de ensayos de homologación de todo tipo de neumáticos, tanto de automóvil como de motocicleta y de vehículo industrial.

La necesidad de conocer las capacidades de los neumáticos a ser re-

más adecuado en función del uso a que vaya a estar sometido el neumático, y empezar a realizar una base de datos con los resultados de los ensayos de las distintas marcas y modelos existentes en el mercado, lo que permitirá a los fabricantes optimizar su trabajo y reducir finalmente la siniestralidad en las carreteras.

2.- EL RECAUCHUTADO DE NEUMÁTICOS USADOS

El recauchutado del neumático comienza con una exhaustiva revisión y selección de las carcacas detectar cualquier anomalía o daño irreparable que las convierta en neumáticos in-

servibles. El conocimiento del estado de la carcasa permite clasificarlas, elaborando hojas de trabajo según la utilización a la que se vaya a destinar. El reglamento, en esta fase inicial de inspección, marca unas pautas a seguir por el operario con relación a la observación tanto interna como externa del neumático.

Las nuevas tecnologías, en este sentido, están aportando un mayor grado de seguridad en esta fase del proceso productivo. Equipos de inspección de carcasas basados en técnicas de ultrasonidos u holográficas están permitiendo detectar fallos internos en las carcasas imposibles de observar visualmente. Los ultrasonidos permiten detectar diferencias de espesores de talón a talón en función de la frecuencia de la onda que recibe un receptor. Esta señal tratada adecuadamente posibilita monitorizar el desarrollo completo del neumático indicando las posibles zonas defectuosas.

La tecnología holográfica, cada vez más utilizada en el diagnóstico inicial, consiste en crear el vacío en el interior del neumático, quedando el exterior a la presión atmosférica. A continuación se le hace girar filmando el interior del mismo, previa medición con rayo láser. Asimismo, a través del monitor, el operario puede observar las localizaciones de los posibles defectos.

Después de pasar este primer control de calidad, las carcasas se clasifican de nuevo antes de introducirse en el proceso productivo, donde el dibujo antiguo es completamente eliminado mediante un proceso denominado raspado. Los reglamentos antes enumerados marcan cotas de profundidad de raspado bien definidas que el operario debe tener presente. La utilización de equipos raspadores que disponen de medidores láser que constantemente miden el perímetro del neumático garantiza la optimización del producto final.

El siguiente paso consiste en dotar al neumático raspado de una nueva banda de rodadura. Para esto existen en la actualidad dos procesos diferentes:



- **Proceso en caliente**, consistente en la incorporación de la goma de la banda de rodamiento en la carcasa gracias a un fuerte adhesivo impregnado en la superficie. La aplicación de la goma puede ser solamente en la banda de rodamiento o de talón a talón. El sistema utilizado en la aplicación de la nueva banda es crucial, ya que el engomado debe estar adherido de forma uniforme con el fin de conseguir un equilibrio óptimo que asegure la calidad del producto final. Este proceso termina con la fase de vulcanizado, en la que se introducen los neumáticos en prensas donde son tratados mediante presión y alta temperatura.

- **Proceso en frío**, consistente en adherir la banda de rodamiento, ya vulcanizada, mediante una fina película de goma denominada de unión. El centrado de esta banda se realiza con la ayuda de un rayo láser, completando de esta manera su perfecta adherencia con el ruleteado uniforme, que evita cualquier oclusión de aire. El proceso finaliza con la introducción del neumático en dos cámaras, una interior y la otra exterior, que mediante un sistema de vacío evita cualquier riesgo de desplazamiento de la banda de rodamiento. Por último se procede al vulcanizado. El registro, mediante un sistema de adquisición de datos, de la temperatura, presión y tiempo,

permite al fabricante, no solo un control exhaustivo del proceso sino también la trazabilidad del neumático producido.

Un neumático recauchutado viene a utilizar aproximadamente el 70% del neumático original, lo que significa un importante ahorro energético. Los neumáticos están formados básicamente de productos petroquímicos y acero. Un neumático de camión utiliza unos 80 litros de petróleo crudo, mientras que uno recauchutado sólo necesita 25. Según la *Asociación Italiana de Recauchutadores de Neumáticos*, AIRP, Italia ahorró 168 millones de litros de crudo en 2005 gracias al uso de neumáticos recauchutados y evitó la producción de 47.500 toneladas de desechos.

La utilización de neumáticos recauchutados en condiciones de seguridad equivalentes a las de los neumáticos nuevos reporta, además beneficios económicos a los transportistas, con el consiguiente impacto socioeconómico en otros sectores. Un neumático recauchutado tiene un coste que puede llegar a ser un 50% del coste de uno nuevo, lo que implica un ahorro de unos 250€ por neumático de camión. Según la AIRP, los compradores de recauchutados en Italia ahorraron 290 millones de euros durante 2005.

La homologación de un neumático recauchutado exige superar los mismos ensayos de carga-velocidad que son requeridos para los neumáticos nuevos. Los laboratorios acreditados disponen de bancos de ensayos que reproducen las condiciones descritas en los reglamentos de neumáticos, y que consisten en hacer rodar a los neumáticos sometidos a unas determinadas condiciones de velocidad y carga sobre un tambor giratorio, en un ambiente de temperatura y humedad controlados (Fig. 2).



Fig. 2.- Montaje del dispositivo de captación termográfica en el banco de ensayos de neumáticos.

Para vehículos turismo, este ensayo tiene una duración de aproximadamente una hora, mientras que para vehículos comerciales dura un total de 47 horas. En ambas situaciones, al finalizar el ensayo el neumático no debe presentar desprendimientos ni abombamientos apreciables, y el diámetro exterior, medido después de seis horas de realizado el ensayo, no debe diferir en más de 3,5% del diámetro medido antes del ensayo.

3.- METODOLOGÍA

La dimensión de neumático seleccionada por los ensayos ha sido la 315/80 R 22,5, por ser esta dimensión la más recauchutada, con índice de carga de 154 (3.550 kg) y categoría de velocidad M (130 km/h).

La metodología planteada para el desarrollo del presente estudio consta de las siguientes fases:

FASE 1: Evaluación de la recauchatabilidad de neumáticos nuevos

Se toman tres muestras nuevas de una determinada marca y se les somete a un ensayo de rigidez estática, para posteriormente ser sometidos a un ensayo de carga-velocidad, en el que se recoge la distribución de temperaturas mediante el equipo de termografía por infrarrojo, la presión interior y la temperatura puntual de zonas de interés. Después del ensayo se vuelve a medir la rigidez estática y se analizan los resultados. Posteriormente se eligen al azar dos de los neumáticos, se raspan y se recauchutan, uno según el procedimiento en frío y el otro en caliente, pasándose a realizar de nuevo el ciclo de ensayos anterior, es decir, rigidez estática, carga-velocidad y de nuevo rigidez estática.

FASE 2: Evaluación de la recauchatabilidad de neumáticos usados.

Se toman tres neumáticos usados de una determinada marca, una vez inspeccionados de manera exhaustiva para detectar cualquier anomalía o daño que desaconsejara su recauchutado. Dos de ellos, elegidos al azar, se recauchutan, uno en caliente y otro en frío, y a los tres se les somete a los ensayos de rigidez estática y de carga-velocidad.

4.- DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

Los ensayos que se incluyen en esta metodología se resumen a continuación:

Ensayo de termografía por infrarrojos

La determinación de la emisividad del neumático es crucial para una correcta validación del proceso. Para ello, se introduce éste en una cámara climática hasta alcanzar una determinada temperatura razonablemente alta (aprox. 80 °C). Se extrae la muestra de la cámara y se mide la temperatura en un punto de la superficie utilizando un termopar. A continuación se mide con el equipo de termografía por infrarrojos y se modifica el ajuste de la emisividad hasta que la temperatura coincida con la lectura



Fig. 3.- Detalle del montaje de dos sensores de infrarrojos próximos al neumático.

del termopar. Este será el valor de la emisividad correcto para esa superficie que en nuestro caso tiene el valor de uno.

Los sensores de infrarrojos se utilizan para medir externamente la temperatura de la banda de rodamiento del neumático y poder correlacionar posteriormente con los datos proporcionados por la cámara de termografía. Por ello es conveniente caracterizar el área de medida a través de las herramientas que posee el software de la cámara de termografía. En la figura 3 se muestra el montaje de los sensores de infrarrojos.

La cámara de termografía tiene una resolución de 240360 pixels y se sitúa a 2 metros de la muestra a medir. En la figura 4 se muestra una captación termográfica de una de las muestras ensayadas, donde se puede observar que las temperaturas máxi-

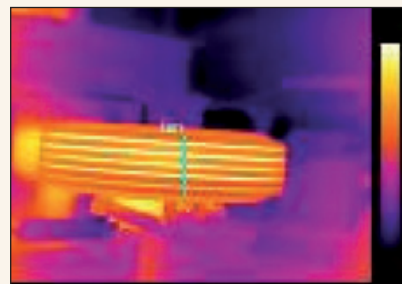


Fig. 4.- Captación termográfica de un neumático durante su ensayo de carga – velocidad.

mas se alcanzan en las acanaladuras del dibujo del neumático.

La figura 5 muestra la distribución de temperaturas a lo largo de

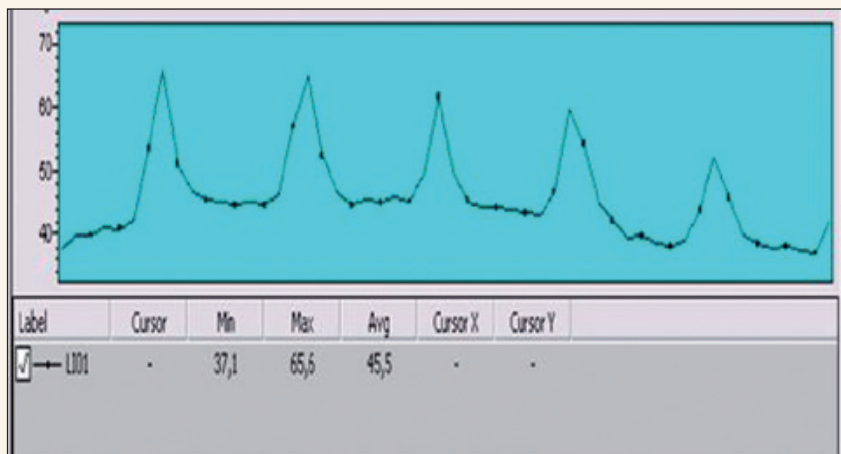


Fig. 5.- Distribución de temperaturas a lo largo de una línea transversal trazada sobre el neumático.

una línea transversal seleccionada en el fotograma anterior con ayuda del software de la cámara termográfica. Se observa que la máxima temperatura es de 65,6 °C correspondiente a la zona de la acanaladura y en un área

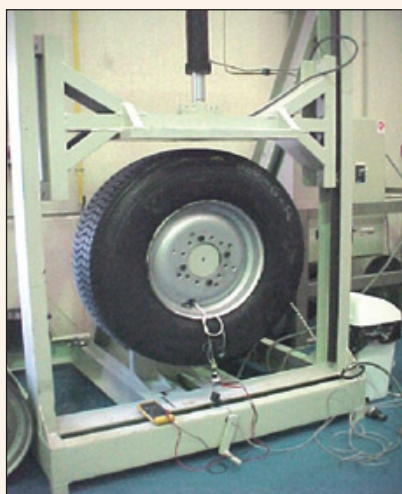


Fig. 6.- Banco de rigidez estática.

de la banda de rodadura cercana al hombro.

Ensayo de rigidez estática

El banco de rigidez estática (figura 6) está compuesto por una estructura de acero a la que se acopla un cilindro hidráulico de 100 kN, accionado por su propia central hidráulica. Las señales de la célula de carga y del sensor de desplazamiento se direccionan hacia un sistema de adquisición de datos con el correspondiente software (ver figura 7).

Ensayo de carga – velocidad

El banco de ensayo de carga y velocidad esta formado básicamente por un tambor de 1,7 m, un motor eléctrico de 750 kW y cuatro estaciones de ensayo. La celda donde está ubicado el banco de ensayos se encuentra correctamente climatizada para mantener la temperatura entre los 20° y 30°C, según prescribe las condiciones de ensayo marcados por el Reglamento.

A través del software se pueden programar las tres etapas de ensayo marcadas en el Reglamento 109. Por ejemplo, para los neumáticos seleccionados para este estudio el programa de ensayo es el siguiente: la pri-

mera etapa dura 7 horas con el 66% de la máxima carga, la segunda 16 horas con el 84% de la máxima carga y la última 24 horas con el 101% de la máxima carga. Durante el ensayo, el tambor girará a la velocidad correspondiente a su categoría de velocidad.

5.-RESULTADOS

Este apartado muestra los resultados de los numerosos ensayos realizados, tanto para la primera fase como de la segunda, y que muestran un comportamiento general de los neumáticos.

Fase 1: Los ensayos se han realizado sobre 3 muestras seleccionadas al azar de una marca, sobre los que se han seguido los pasos indicados en la metodología descrita anteriormente.

En la figura 8 se muestra la gráfica comparativa de la rigidez estática de un neumático nuevo de una determinada marca, con los correspondientes a ese mismo tipo de neumático recauchutado en frío y en caliente. El proceso de recauchutado provoca una cierta pérdida de rigidez en el neumático, posiblemente en el proceso de eliminación de la goma de origen (raspado), siendo independiente el sistema elegido para el recauchutado.

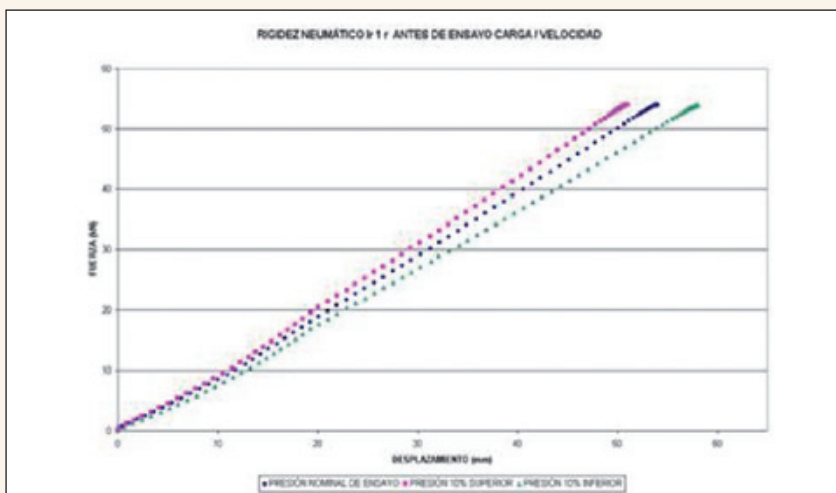


Fig. 7.- Diagrama fuerza – desplazamiento de un ensayo de rigidez estática sobre un neumático a su presión nominal, a un 10% superior y a un 10% inferior.

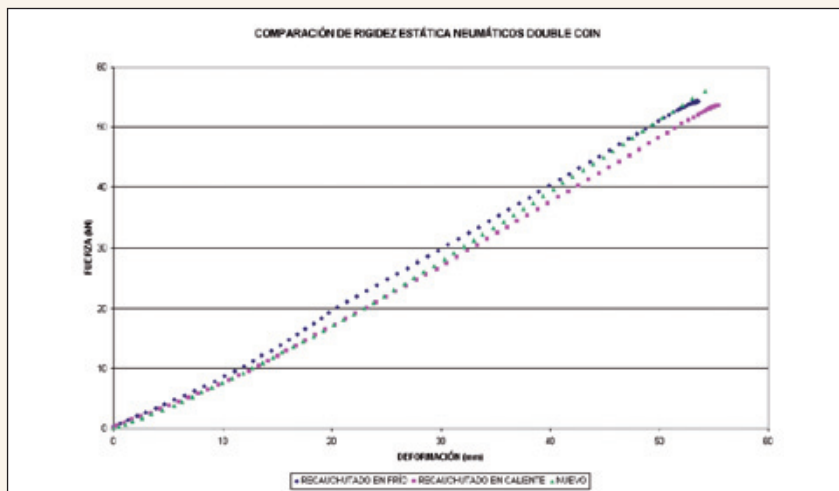


Fig. 8.- Curva de rigidez para neumático nuevo, recauchutado en frío y recauchutado en caliente.

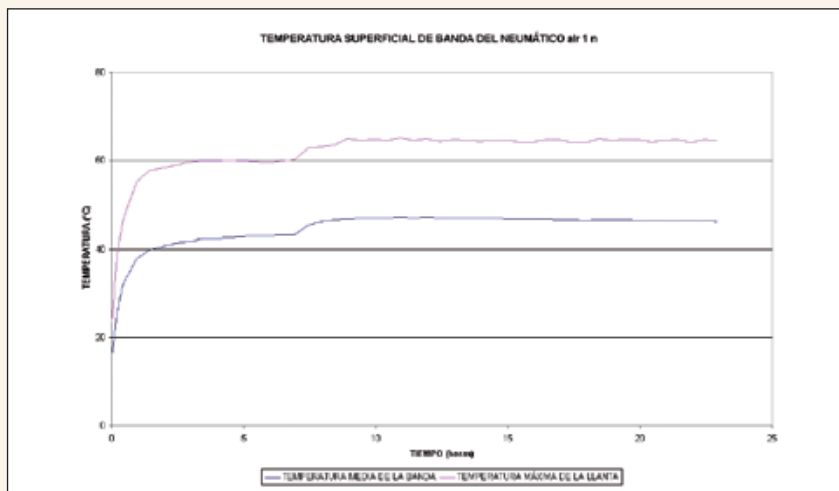


Fig. 9.- Evolución de la temperatura máxima y media de la banda de rodadura de un neumático industrial 315/80R22,5 154M durante el ensayo de carga-velocidad.

La figura 9 muestra la temperatura media y máxima de un neumático nuevo durante la primera fase del ensayo carga-velocidad (66% de la carga).

En la figura 10 se puede observar una comparativa, respecto al tipo de recauchutado utilizado, de la evolución de la temperatura de la banda de rodamiento. Los neumáticos recauchutados presentan una temperatura mayor que el nuevo, siendo el recauchutado en caliente la condición más desfavorable.

Fase 2: Los ensayos se han realizado sobre 3 muestras por marca, sobre los que se han seguido los pasos indicados en la metodología descrita anteriormente.

En la figura 11 se muestra la gráfica comparativa de la rigidez estática de un neumático usado de una determinada marca, con los correspondientes a ese mismo tipo de neumático recauchutado en frío y en caliente. Se observa que la pérdida de rigidez es independiente del sistema elegido para el recauchutado del neumático.

En la figura 12 se puede observar que la temperatura superficial de la banda de rodamiento del neumático es sensiblemente menor en el neumático usado, principalmente debido a la menor cantidad de goma existente, por lo que la evacuación de calor es mucho menor que la correspondiente a los neumáticos que se han recauchutado. Entre los dos sistemas de recauchutado, se observa que en el neumático que ha sido recauchuta-

al finalizar el ensayo el neumático no debe presentar desprendimientos ni abombamientos apreciables, y el diámetro exterior, medido después de seis horas de realizado el ensayo, no debe diferir en más de 3,5% del diámetro medido antes del ensayo

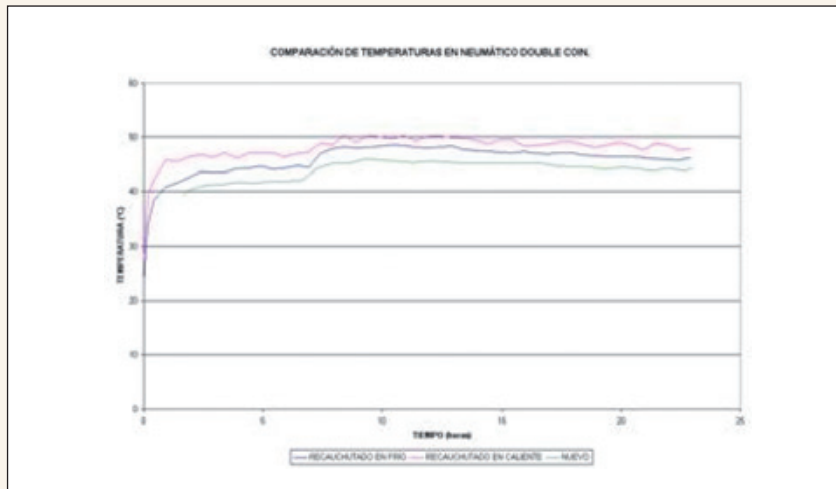


Fig. 10.- Evolución de la temperatura de la banda de rodadura de tres neumáticos: nuevo, recauchutado en frío y en caliente, durante el ensayo de carga-velocidad.

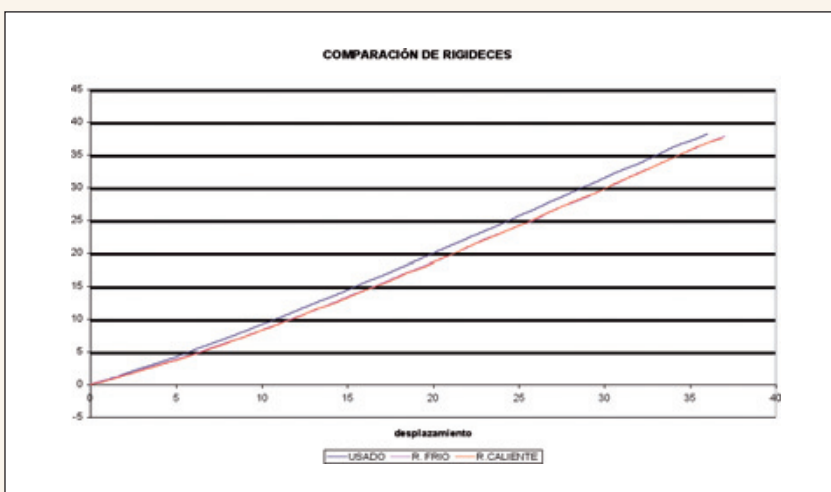


Fig. 11.- Curva de rigidez para neumático usado, recauchutado en frío y recauchutado en caliente.

do en caliente, la temperatura alcanzada es ligeramente mayor, y que además se alcanza más rápidamente.

Con relación a la temperatura interior (Figura 13) se observa que hay una diferencia más acusada entre el recauchutado en caliente y el recauchutado en frío, aunque siempre es más desfavorable en el recauchutado en caliente. Del estudio conjunto de esta gráfica y de la anterior se puede deducir que el recauchutado en caliente genera más calor, ya que su

temperatura interior es mayor, y además la evacua con mayor dificultad, por lo que el gradiente de temperaturas entre el interior y el exterior del neumático es mayor en este tipo de recauchutado.

6.- CONCLUSIONES

Este estudio se ha realizado sobre una muestra de neumáticos de la dimensión 315/80 R 22,5 sobre la que se puede concluir que:

Fase 1: En la primera fase se ha caracterizado el comportamiento de neumáticos del mismo tipo nuevos, que en términos generales, tras seguir los pasos marcados en la metodología, las tendencias que siguen son las siguientes:

- El neumático recauchutado en caliente presenta peor comportamiento frente a la rigidez que el recauchutado en frío. Previsiblemente el propio proceso de recauchutado en caliente afecte a las características estructurales de la carcasa.

- El neumático recauchutado en caliente presenta un estado de temperaturas más elevado que el neumático recauchutado en frío durante el ensayo de carga – velocidad. No solamente depende del proceso de recauchutado sino, también, del porcentaje de caucho natural que incorpore.

- El dibujo direccional presenta un estado de temperaturas más elevado que el dibujo de tracción durante el ensayo de carga – velocidad. El diseño del dibujo y, por tanto, de la forma de los tacos, tienen una influencia decisiva en cuanto a la transmisión de calor.

Fase 2: En esta segunda fase la trazabilidad del neumático es más compleja debido al desconocimiento, a priori, de la utilización del neumático. Así, se ha tratado de conseguir neumáticos de flotas de largo recorrido cuyo desgaste es más uniforme y previsible. En términos generales, tras seguir los pasos marcados en la metodología, las tendencias que siguen son las siguientes:

- Cualquiera de los dos sistemas de recauchutado, frío y caliente, producen una pérdida de rigidez. El estado de la carcasa usada es insensible al tipo de recauchutado.

- El neumático recauchutado alcanza una temperatura mayor que el neumático sin recauchutar, llegando el recauchutado en caliente a mucha mayor temperatura interna que el recauchutado en frío. La degradación de la goma usada produce un calentamiento adicional a pesar de su menor espesor. Al igual que en el caso

anterior la capacidad de disipar calor no solo depende del tipo de recauchutado sino también del porcentaje de caucho natural que incorpore.

La determinación de la recauchutabilidad se obtendrá aplicando dicha

velocidad. Los valores de rigidez y temperatura serán las variables de entrada que cuantifiquen el nivel de recauchutado alcanzable para una condición de servicio determinada.

Reciclados (AER) y a sus empresas asociadas, por su activa participación durante el desarrollo de este estudio.

8.- BIBLIOGRAFÍA

[1] United Nations, "Regulation 109 -Uniform Provisions Concerning the Approval for the Production of Retreaded Pneumatic Tires for Commercial Vehicles and their Trailers". June, 1998.

[2] United Nations, "Regulation 54 -Uniform Provisions Concerning the Approval for the Production of Retreaded Pneumatic Tires for Commercial Vehicles and their Trailers". June, 1998.

[3] Siegfried Gebel, "An International View on Tire Retreading", Valebridge Publications Ltd. June 2000.

[4] Roberts AD. "Future Challenges in Tyre Testing & Retreading", Tun Abdul Razak Research Center, Hertford, UK. October 2000.

[5] López JM, García A, Páez J. "Experimental Methods to Determine Tires Retreading Condition". FISITA. Feb. 2004. F2004A072

[6] Dirección General de Tráfico. Anuario General Estadístico 2006. ■

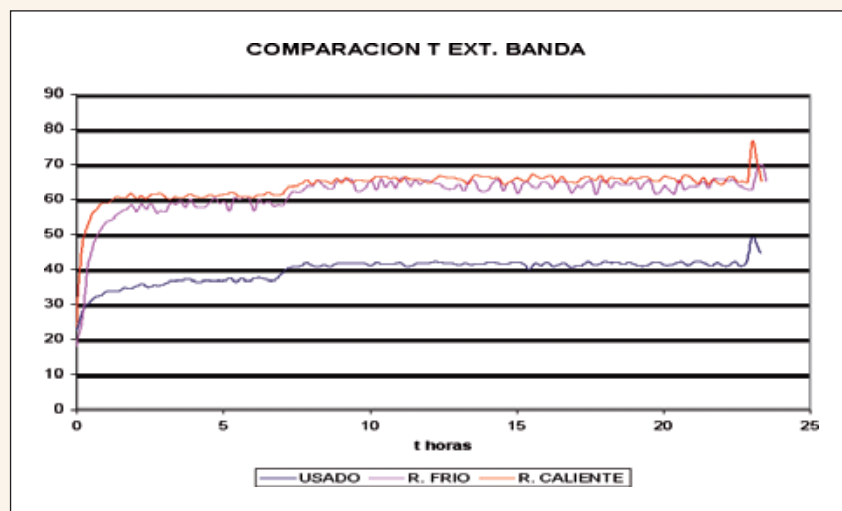


Fig. 12.- Variación de la temperatura exterior, captada por la cámara de termografía por infrarrojos, con el tiempo para neumático usado, recauchutado en frío y recauchutado en caliente.

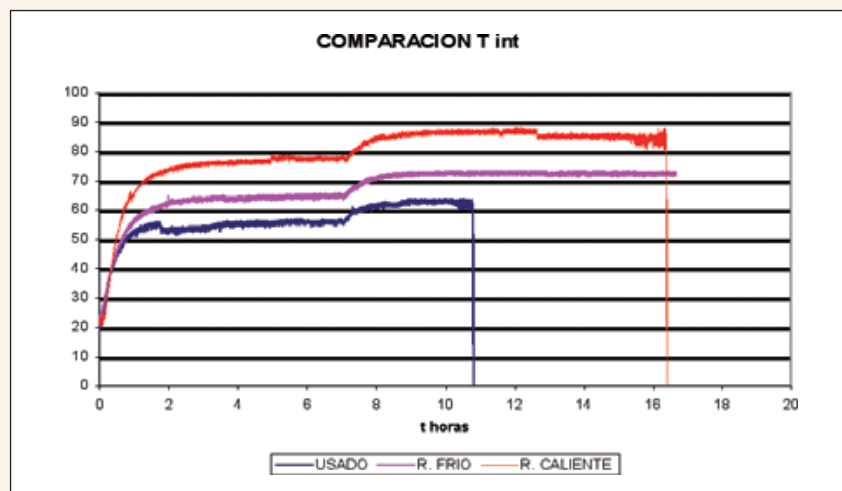


Fig. 13.- Variación de la temperatura interior, captada mediante termopares colocados en la banda interna, con el tiempo para neumático usado, recauchutado en frío y recauchutado en caliente.

metodología a una cantidad suficiente de neumáticos que permita obtener una tendencia concreta de su comportamiento en el banco de pruebas bajo condiciones estables de carga-

7.- AGRADECIMIENTOS

Los autores, y el Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA), agradecen la colaboración de la Asociación Española de Neumáticos