

Determinación de propiedades físico-mecánicas del material componente de un neumático de tractor

Determination of physical-mechanical properties of the material of tractor tire

Raudel Flores Moreno¹; Arturo Martínez Rodríguez²; Gelasio Pacheco Sánchez³; Vladimir Lenin Reyes de la Cruz³ y Alexander Laffita Leyva⁴

RESUMEN. Las complejidades asociadas al cálculo con exactitud de los coeficientes de cargas dinámicas y en particular las de impacto, traen aparejadas otras dificultades relacionadas con el sobredimensionado de las piezas, lo cual da lugar a exceso de peso y gastos adicionales. En el caso de las máquinas agrícolas es de vital importancia el estudio de los sistemas de amortiguación, ya que estos son capaces de absorber las cargas de impacto disminuyendo de esta forma las afectaciones que estas provocan en las estructuras. En el presente trabajo se determinaron algunas propiedades del material constitutivo de un neumático típico empleados en tractores y máquinas agrícolas necesarias para abordar métodos de cálculo mediante modelación con herramientas de diseño asistido por computadora y análisis por elementos finitos con vistas a determinar coeficientes de cargas dinámicas. Aplicando técnicas de extensometría eléctrica, se determinan las principales propiedades elásticas del material, obteniéndose valores medios del módulo de elasticidad y del coeficiente de Poisson de 203,5 MPa, y 0,47 respectivamente. También se determinó la densidad del material empleando el método de inmersión, obteniéndose un valor medio de 1 153,7 kg/m³.

Palabras clave: neumático, propiedades elásticas, densidad.

ABSTRACT. The complexities associated to the exact calculation of the dynamic load coefficients and particularly those related to impact, are joint to other difficulties related to the over dimensioned of the parts, which produce an excess of weight and additional expense. In the case of agricultural machines is of great importance the study of the shock systems due to the fact that they are able to absorb the impact load decreasing in this way the affectations that produce on the structures. In this paper some properties of the constitutive material of a typical tire used in tractors and agricultural machines necessary for using calculation methods by modeling were determined using tools of Assisted Design by Computer and analysis by finites elements for determining dynamic load coefficients. Applying electric extensometry techniques, the main elastic properties of the material are determined, obtaining medium values of the young module and of the Poisson coefficient of 203,5 MPa, and 0,47 respectively. The density of the material using the immersion method was also determined obtaining a medium value of 1 153,7 kg/m³.

Keywords: tires, elastic properties, density.

INTRODUCCIÓN

Las exigentes condiciones de los terrenos y características pesadas de los suelos, hacen habitual en la agricultura cubana los ejemplos de máquinas e implementos, tanto de fabricación nacional como de importación, que sufren deformaciones en su estructura o roturas frecuentes en sus órganos de trabajo.

La determinación de coeficientes de cargas dinámicas que posibiliten obtener, con un grado de exactitud aceptable, los estados tensionales y deformacionales en piezas y estructuras sometidas a cargas de impacto, presenta un alto nivel de dificultad, sobre todo cuando los elementos sometidos a la acción de dichas cargas presentan una configuración que no sea simple, otros métodos más rigurosos, consideran además la energía

Recibido 04/04/09, aprobado 21/07/10, trabajo 42/10, investigación.

¹ Ing., Adiestrado, Universidad Agraria de La Habana (UNAH). Centro de Mecanización Agropecuaria, Apto. Postal: 18-19, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP: 32 700, E-✉: raudelfm@isch.edu.cu

² Dr.Cs., Inv.Tit., UNAH, Centro de Mecanización Agropecuaria, La Habana, Cuba.

³ Estudiante, Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola (DIMA), México,

⁴ Ing., Especialista, UNAH, Centro de Mecanización Agropecuaria, La Habana, Cuba.

cinética del cuerpo impactado, y tiene en cuenta el efecto de la masa de dicho cuerpo, lo cual ha sido demostrado que incide en los resultados finales del cálculo, excepto cuando la masa del elemento impactado es muy inferior a la del elemento que impacta (Martínez *et al.*, 2009).

Sin embargo, en los casos con algún grado de complejidad, o que sencillamente se diferencien de los casos típicos, se incrementa notablemente el nivel de dificultad en los cálculos analíticos.

En lo relacionado con la consideración y cálculo de coeficientes de cargas dinámicas durante el cálculo de elementos de máquinas agrícolas, solo se reporta en Cuba una investigación realizada por Goitizolo (2007), en la que aplica el método tradicional utilizado por Pisarenko (1979), durante el cálculo de un puente delantero de tractor al que se le incrementa la capacidad de paso. Por estas razones es necesario implementar otros métodos que simplifiquen el cálculo y permitan abordar casos no contemplados como típicos, como es el caso del empleo de las herramientas de diseño asistido por computadora en particular el análisis por elementos finitos. Modernamente, este método ha venido empleándose con éxito no solo en el análisis de estructuras si no que tan bien se han realizado estudios en neumáticos como importantes elementos amortiguadores, debido a que en la mayoría de los casos son los primeros en recibir los impactos, esto se debe a que todo el tiempo se encuentran en contacto con la superficie del suelo y en el caso particular de la maquinaria agrícola deben transitar por terrenos irregulares con la existencia de obstáculos físicos que inciden directamente sobre ellos.

Una de las dificultades del análisis por elementos finitos esta en el conocimiento de algunas propiedades físico mecánicas importantes e imprescindibles para el desarrollo de modelos que respondan a una idealización aceptada de la realidad, por lo tanto para realizar un estudio adecuado de los neumáticos hay que determinar previamente las propiedades necesarias para su modelación.

La determinar de propiedades físico-mecánicas de elementos no metálicos a sido muy empleada en la ingeniería agrícola por diferentes autores como Ariatizábal (1999), Ciro

(1998), Clowes (1977), que determinan diferentes propiedades físico-mecánicas de los frutos de café.

El comportamiento de los neumáticos ha sido modelado en computadora por diversos autores. Nackenhorst y Ziefle (2005), usan procedimientos numéricos que consideran los problemas de contacto entre los elementos, incluyendo materiales provistos de elasticidad. Bolarinwa y Olatunbosun (2004), realizan la modelación de un neumático mediante elementos finitos, lo que les permite modelar el efecto de explosión del neumático cuando es inflado a presiones más allá de la máxima recomendada por el fabricante. Para el análisis emplean un modelo procesado mediante el programa ABACUS. Kazuyuki Kabey Masataka Koishi (2000), aplicaron el método por elementos finitos para el estudio de neumáticos, la mayoría de estos análisis fueron realizados de forma estática, porque los neumáticos constituyen una estructura demasiado complejo para su modelación debido a la cantidad de elementos que posee en su interior. En la determinación de las propiedades físico químicas de materiales no metálicos existen varias referencias a nivel nacional e internacional como es el caso de El presente trabajo está dirigido a determinar a partir de métodos, basados en el empleo de herramientas de diseño asistido por computadora, en particular el método de los elementos finitos, el efecto de un neumático agrícola típico como elemento amortiguador por su efecto en la disminución de los coeficientes de cargas dinámicas en máquinas agrícolas sometidas a cargas de impacto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la determinación de las propiedades físico mecánicas del material componente del neumático típico de maquinas agrícola fue elaborada una probeta del material a estudiar (Figura 1), cuyas dimensiones se muestran en la Tabla 1. La muestra se caracterizo por abarcar todo el espesor

del neumático, cuyas sección transversal esta compuesta por una parte de goma con cuerdas insertadas y otra parte de goma sola. El experimento fue realizado en el laboratorio de extensómetro eléctrico del Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) de la Universidad Agraria de La Habana.

TABLA 1. Características de las muestras del material a estudiar

Parámetros	UM	PROBETA (neumático completo)
Longitud total	mm	37,5
Área de la sección transversal	mm ²	277,5
Espesor	mm	7,4



FIGURA 1. Probeta del material a estudiar.

Coefficiente de Poisson (μ): La determinación del coeficiente de Poisson se efectuó para la probeta del neumático objeto de estudio (Tabla 1). El experimento se realizó fijando la probeta rígidamente en uno de sus extremos en posición vertical, pegándose en una zona cercana al centro dos extensómetros eléctricos configurados en cuartos de puente independientes (Figura 2), capaces de captar las deformaciones unitarias longitudinales (ϵ_l) y transversales (ϵ_t) que se provocan cuando son aplicadas en el extremo libre de la probeta, cargas longitudinales conocidas que provocan un estado tensional plano en el punto de colocación de los extensómetros. Los cambios de resistencia

eléctrica proveniente de los extensómetros, proporcionales a las deformaciones unitarias, son debidamente amplificadas y registrados para su lectura en microstrain (μs). Durante la aplicación de las cargas se tuvo en cuenta que su valor máximo no superara el límite permisible de deformación de las galgas extensométricas.

La determinación se completa calculando el coeficiente de Poisson según la expresión:

$$\mu = -\frac{\epsilon_t}{\epsilon_l} \quad (1)$$

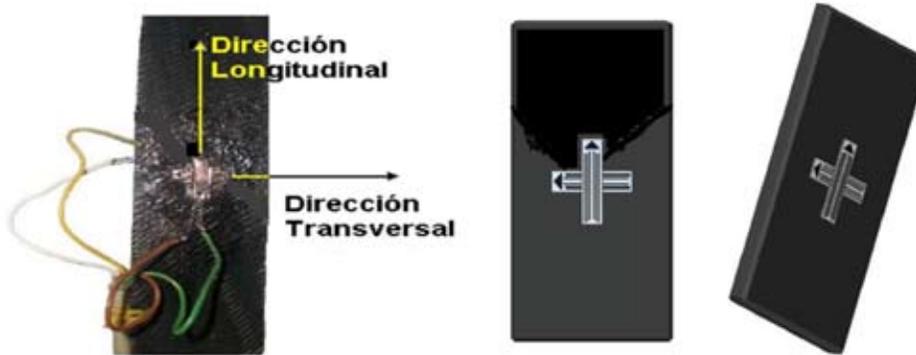


FIGURA 2. Extensómetros eléctricos configurados en cuartos de puente independientes.

Modulo de Elasticidad (E): Para la determinación del modulo de elasticidad de la probeta de material a estudiar, se determino previamente los datos dimensionales. El experimento se realiza fijando la probeta rígidamente en uno de sus extremos en posición vertical (Figura 3), pegándose en una zona cercana al centro dos extensómetros eléctricos configurados en cuartos de puente independientes, aunque solo se utiliza la salida proveniente del extensómetro longitudinal, que capta las deformaciones unitarias longitudinales (ϵ_l) que se provocan cuando son aplicadas en el extremo libre de la probeta cargas longitudinales conocidas. Los cambios de resistencia eléctrica proveniente de los extensómetros, proporcional a las deformaciones unitarias, son debidamente amplificadas y registrados para su lectura en microstrain (μs). Posteriormente se realizó una regresión lineal empleando un programa estadístico (Statgraphics_Plus-5.1)

donde se determino la ecuación de la pendiente de la curva entre las deformaciones y los esfuerzos, siendo la ecuación de una recta $Y=a + b*X$ donde b corresponde al valor del modulo de elasticidad; a el intercepto; Y corresponde a los esfuerzos y X a las deformaciones. Partiendo de este principio se obtiene que cuando el intercepto es 0 $b=Y/X$, similar a la expresión siguiente:

$$E = \frac{\sigma_l}{\epsilon_l} \quad (2)$$

donde:

σ_l -esfuerzo normal en la dirección longitudinal, $\sigma_l = F/A$

ϵ_l -deformación longitudinal unitaria;

F-fuerza;

A-área de la sección transversal.



FIGURA 3. Muestra fijada rígidamente en uno de sus extremos.

Densidad Másica (ρ): A la probeta del material a estudiar se le determino su masa (m), con una balanza de un grado de precisión de 0,01g. Este material posteriormente fue sumergido en una probeta graduada de un grado de precisión de 1 mililitro con un volumen de agua conocido (Figura 4), anotándose

la diferencia de volumen de agua (ΔV) que es desplazado por el segmento del material a estudiar. La densidad másica se determinó por la expresión:

$$\rho = \frac{mr}{\Delta V} \quad (3)$$

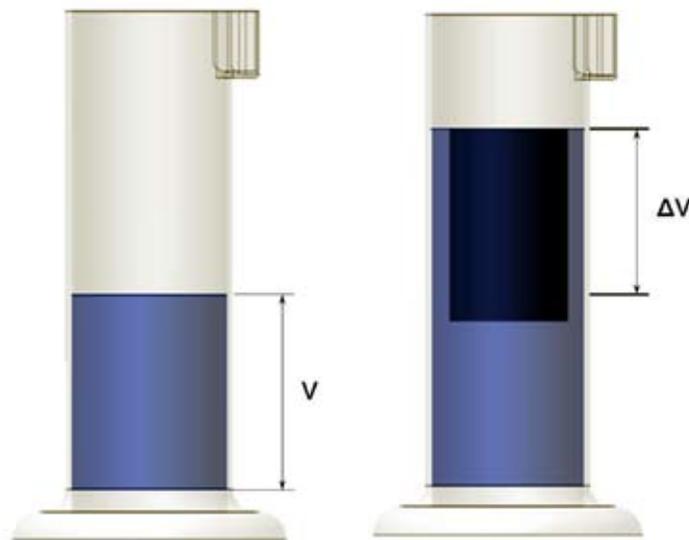


FIGURA 4. Experimento para determinar el desplazamiento de volumen de agua (ΔV).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la determinación de las propiedades del material componente del objeto de estudio, requeridas para la aplicación del análisis por elementos finitos

Los valores de deformación longitudinal y transversal obtenidos aumentan mientras mayor es la carga aplicada, estos datos obtenidos permiten calcular el coeficiente de Poisson y el modulo de elasticidad para la probeta del material a estudiar. Para los datos de esfuerzo y deformación longitudinal obtenidos mediante el experimento extensométrico para la determinación del modulo de elasticidad, se realizo un análisis donde se tomo el

rango de valores que presenta la mayor linealidad, en la figura 5 se puede apreciar que estos parámetros mantienen una relación lineal para el rango de valores representado, que va de un valor de carga aplicada de 4 a 7 kg con un valor de coeficiente de determinación de 99,71%. Según los datos obtenidos durante la regresión para la probeta del material a estudiar el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,01, existiendo relación estadísticamente significativa entre los dos parámetros con un nivel de confianza del 99% para el rango de valores representados.

Mediante Statgraphics_Plus-5.1 se obtuvo para el neumático típico de maquinas agrícolas (7.50-20-6) un modulo de elasticidad de 203,458 MPa, con un coeficiente de Poisson de 0,4698 como se muestra en la tabla 2.

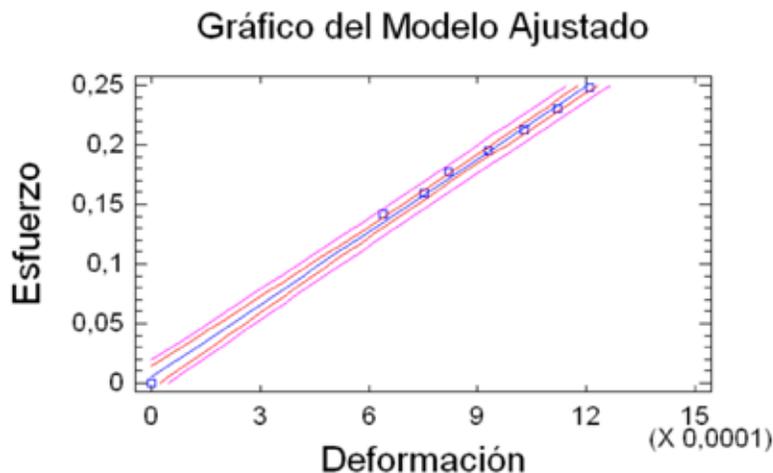


FIGURA 5. Modelo ajustado del neumático.

TABLA 2. Propiedades elásticas del neumático de máquinas agrícolas (7.50-20-6)

Parámetros	UM	PROBETA
Módulo de elasticidad	MPa	203,458
Coefficiente de Poisson		0,4698

La densidad del neumático fue determinada para la composición del material a estudiar (Tabla 3), elaborándose cinco mediciones a la probeta para la cual fueron obtenidos cinco valores de densidad, promediando estos valores se obtuvo como resultados final 1153,7 kg/m³.

TABLA 3. Resultado de la densidad másica del neumático típico de maquinas agrícolas (7.50-20-6)

Probeta I	Volumen desplazado		Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)
	(L)	(m ³)		
1	0,058	0,000058	0,067	1155,17241
2	0,06	0,000060	0,068	1133,33333
3	0,059	0,000059	0,069	1169,49153
4	0,057	0,000057	0,066	1157,89474
5	0,059	0,000059	0,068	1152,54237
			PROMEDIO	1153,7

CONCLUSIONES

- El modulo de elasticidad del neumático agrícolas (7.50-20-6) es de 203,458 Mpa, el coeficiente de poisson es de 0,4698 y la densidad del neumático es de del1153,7 kg/m³.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIZTIZÁBAL, T.; C.E. OLIVEROS Y M.A. ÁLVAREZ: "Cosecha mecánica del café mediante vibraciones multidireccionales", *Cenicafé*, 50(3): julio-septiembre, 1999.
- BOLARINWA, E.O. Y O. A.: *Olatunbosun, Finite element simulation of the tyre burst test*. Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 218 Part D: J. Automobile Engineering, USA, 2004.
- CIRO, H.J.; C.E. OLIVEROS T. Y M.A. ALVAREZ: "Estudio dinámico bajo oscilación forzada del sistema fruto-pedúnculo del café variedad Colombia". *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 51(1): 1998.
- CLOWES, M.ST.J.: "The effects of ethrel on ripening *Coffea arabica L.* fruits at different stages of maturity", *Rhodesia J. Agr. Res.*, 75: 79-88, 1977.
- GOITIZOLO, R; L. VILLA; E. ZAYAS, P.M. HERNÁNDEZ; J.G. NOA Y H. HERNÁNDEZ: "Modificación del Alto Despeje del Tractor YUMZ 6M", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(4): 11-16, 2007.
- KAZUYUKI KABE; M. K.; Y. RUBBER; O. HIRATSUKA: *Tire cornering simulation using finite element analysis*. Computational Mechanics Lab. Research and Development Center, Co., 2-1, Kanagawa 254-8601, Japan, 2000.
- MARTÍNEZ, A; R. FLORES Y J. SAMÁ. "Influencia de la masa del cuerpo impactado sobre los coeficientes de cargas dinámicas calculados por métodos tradicionales", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2): 22-26, 2009.
- NACKENHORST, U.; M. ZIEFLE: "Finite element modelling of rolling tires. Institut für Baumechanik und Numerische Mechanik", *Universität Hannover, ISSN 0948-3276 Hüthig, Heidelberg, Allemagne*, 58(6): 322-326, 2005.
- PISARENKO, G.S.; A.P. YÁKOVLEV Y V. MATVÉEV: *Manual de resistencia de materiales*, Primera edición, Ed. MIR, Moscú, URSS, 1979.