

Dispositivo para la medición de la energía específica durante el corte de tallos gruesos

Device for the mensuration of the specific energy during the cut of thick shafts

Lic. María del Carmen Sigler¹, Dr.C. Pedro A. Valdés Hernández¹; M.Sc. Alexander Laffita Leyva¹, Ing. Julio Cesar Ayala¹, Ing. Teodoro Maldonado¹¹

¹ Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

¹¹ Universidad Autónoma Chapingo, Instituto de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Chapingo, Texcoco, México.

RESUMEN. La importancia que tiene el conocimiento de las propiedades físico-mecánicas para el desarrollo de máquinas picadoras de forraje, es determinante y decisivo para lograr aumentar la eficiencia energética de esta, por tanto dentro de estas propiedades se encuentra la energía específica al corte, que depende del tipo de material a procesar, su etapa de crecimiento, contenido de humedad y el lugar de corte en la planta. En el trabajo se plantea como objetivo realizar el diseño de un dispositivo para la medición de la energía específica durante el corte de tallos gruesos, con el empleo del método de elementos finitos, con vista a garantizar su trabajo fiable. Para el diseño del dispositivo se utiliza como principio la pérdida de la energía potencial elástica de un resorte. Como primer paso se desarrolló la simulación del modelo geométrico con la herramienta computacional Solid Works 2013, y la definición de las propiedades mecánicas de los materiales empleados en la construcción del dispositivo, así como la definición de las condiciones de frontera y cargas. Los resultados mostraron que las partes componentes del dispositivo fueron capaces de resistir las tensiones máximas de 245,4 MPa, que surgen bajo la acción de la fuerza aplicada de 392 N al extremo de la cuchilla equivalente a la de un hombre. El mínimo factor de seguridad calculado (2,78) a partir de las máximas tensiones originada evidencian que el dispositivo posee reservas en cuanto a la resistencia mecánica de su estructura. Se evidencia que los materiales empleados en la construcción del dispositivo garantizan la resistencia requerida para el trabajo sin fallos de sus elementos componentes.

Palabras clave: propiedades físico-mecánicas, simulación, resistencia mecánica.

ABSTRACT. The importance of knowledge of the physical - mechanical properties for the development of forage chopper machines is crucial and decisive to achieve increase energy efficiency is therefore within these physical-mechanical properties are, specific cutting energy, depending on the material type to process, its growth stage, moisture content, the cutting position on the ground. In this paper the objective is to carry out the design of a device for the mensuration of the specific energy during the cut of thick shafts, with the employment of the finite elements method, with view to guarantee their reliable work. For the design of the device it is used like principle the loss of the elastic potential energy of a spring. As a first step the simulation of the geometric model was developed with the tool Solid Works 2013, and the definition of the mechanical properties of the materials employees in the construction of the device, as well as the definition of the frontier conditions and loads. The results showed that the component parts of the device were able to resist the maximum tensions of 245, 4 MPa that arise under the action of the applied force on 392 N in the knife extreme, equivalent to that of a man. The minimum calculated security factor (2,78) starting from the originated maxims tensions they evidence that the device possesses reservations as for the mechanical resistance of its structure. Showing that the materials used in the construction of the device guarantee the resistance required for the work without failure of their component elements.

Keywords: physical-mechanical properties, simulation, mechanical resistance.

INTRODUCCIÓN

En las investigaciones vinculadas con los órganos de trabajo de las máquinas agrícolas y en particular en el caso de los órganos desmenuzadores y trozadores de tallos, es una

etapa indispensable la determinación de las propiedades físico mecánicas del material (Chattopadhyay y Pandey; 1999 y 2001; Chen, *et al.*, 2004; Pérez de Corcho *et al.*, 2006; Valdés *et al.*,

2008; Ramos *et al.*, 2012), ya que constituyen datos de entrada durante la evaluación de modelos teóricos para el cálculo de diferentes parámetros constructivos y de explotación de dichos órganos (Martínez *et al.*, 2004; Pérez de Corcho y Garbati, 2008 y Valdés, 2008¹).

Una de las propiedades de mayor relevancia resulta la energía específica requerida durante el corte de tallos, así como la influencia de los parámetros geométricos y cinemáticos del par cortante (cuchilla/sufridera) sobre la variación de la potencia y el tamaño de las partículas en las maquinas picadoras de forraje según Valdés (2008), Valdés et al. (2009), Valdés et al. (2010) y Valdés y Martínez, (2012).

A nivel nacional e internacional varios autores han realizado investigaciones relacionadas con el estudio de dispositivos para la determinación de la energía específica durante el corte de diversos cultivos o productos agrícolas como Silveira (1977³), durante el estudio de órganos trozadores de cosechadoras de caña de azúcar, determino la energía específica de corte para tallos de 7 variedades de caña en la zona oriental de cuba. Como instrumento de medición en los experimentos utilizó un péndulo Sharpy modelo PSW-30, cuyo principio de funcionamiento se basa en el método tradicional de energía potencial gravitatoria realizando los experimentos en todos los casos a velocidades de corte inferiores a 6 m/s, dadas las limitaciones del péndulo Sharpy para alcanzar velocidades superiores. Rieznik (1964), estudiando la energía específica requerida para el corte de tallos de maíz, demostró que esta disminuye con el incremento de la velocidad de corte y que a partir de una velocidad de 20...30 m/s se comporta en forma asintótica. Para estas determinaciones emplea un péndulo Sharpy de gran altura (3,6 m) logrando obtener velocidades superiores a los 20 m/s, pero con una elevada complejidad constructiva. Pérez de Corcho (2006²), utiliza un péndulo con dimensiones similares alcanzando velocidades de corte de hasta 15 m/s y analiza la influencia del ángulo de filo de las cuchillas y la velocidad de corte sobre la energía de corte por impacto en tallos y hojas de piña en Cuba. Por lo que se hace necesario dada la importancia de esta propiedad para el desarrollo de órganos de trabajo picadores de tallos continuar con el desarrollo del método propuesto por Valdés *et al.* (2009), que permita la determinación de la energía específica del corte de tallos gruesos a altas velocidades, que posibilite el empleo de un equipamiento más racional que los que han sido empleados anteriormente y garantizar un funcionamiento con la debida fiabilidad, acorde a las exigencias del órgano objeto de estudio.

Por otro lado el método de elementos finitos ha sido muy empleado en los análisis estructurales y de fluidos en máquinas agrícolas de forma general como las investigaciones realizadas por los autores Nava *et al.* (2012), que realizó el análisis resistivo de un nuevo arado de tracción animal, Laffita *et al.* (2012) y (2014) realizó el diseño, construcción y calibración de un transductor tipo S y elaboró la metodología para determinar la fuerza de arrastre de productos agrícolas a partir de la dinámica de fluidos computacional, respectivamente. Asimismo Herrera *et al.* (2012), realiza estudios similares para definir el efecto de la velocidad del viento en el desempeño de los pulverizadores agrícolas de ventilador, como se puede apreciar estos trabajos han estado dirigido a otros tipos de máquinas o procesos que no

se corresponden con el objeto de estudio en el presente trabajo.

Considerando lo anterior se plantea como objetivo realizar el diseño de dispositivo para la medición de la energía específica durante el corte de tallos gruesos, con el empleo del método de elementos finitos, con vista a garantizar su funcionamiento fiable.

MÉTODOS

Implementación de los modelos en la herramienta computacional. El diseño y análisis de resistencia comprendió, en su fase inicial, la implementación de los modelos en el software especializado Solid Works 2013, empleado como herramienta computacional para la realización de los referidos análisis. En dicha fase se describe el problema a simular, se define el modelo geométrico que representa en forma exacta al referido dispositivo para el corte de tallos gruesos, se declaran las propiedades de los materiales que conforman la estructura del mismo, se establecen las condiciones de fronteras, se imponen las cargas y se crean las mallas de elementos finitos.

Descripción del problema objeto de modelación. Como objeto de modelación se toma el dispositivo desarrollado según el principio de trabajo (que consiste en la pérdida de la energía potencial elástica de un resorte) y dimensionado obtenido de la investigación realizada por Valdés, (2008¹ y 2009) con la determinación de la energía específica, durante el corte de tallos de caña.

Definición del modelo geométrico. El modelo de diseño definido comprende una representación detallada en tres dimensiones (3D) de las partes del dispositivo de medición. El mismo fue desarrollado con el software Solid Works 2013, (Figura 1), a escala real (1:1), con la inclusión de todos los detalles constructivos del mismo.

En dicha figura se presenta la digitalización del modelo, el cual consta de un bastidor rígido (1), de un resorte (4), insertado dentro de un cilindro guía (3), una chuchilla para realizar el corte (6), la cual es accionada manualmente por su extremo hasta la obtención del ángulo de giro deseado correspondiente a la velocidad periférica estimada para realizar el corte de los tallos, dos planchas para la sujeción del resorte y la cuchilla (5), el eje apoyado en un cojinete que sirve como guía (8), una plancha para la sujeción del resorte y cilindro a la base (2), y una contra cuchilla (7).

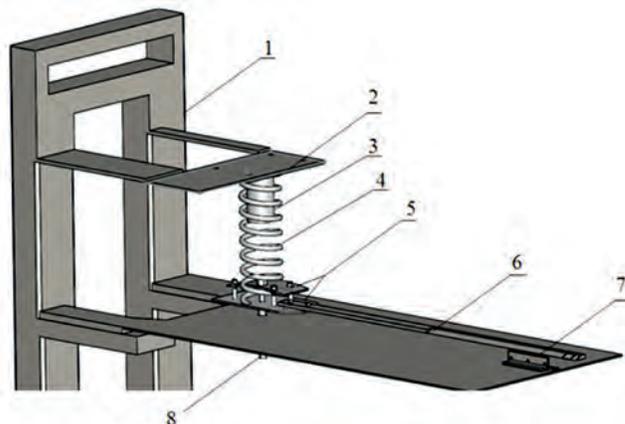


FIGURA 1. Modelo físico del dispositivo.

Cargas y condiciones de frontera: La carga aplicada se considera equivalente a la fuerza que genera un hombre, que actúa directamente en el extremo de la cuchilla en su misma dirección y con sentido opuesto al filo de la cuchilla, con una magnitud de 392 N, según (Díaz y Sánchez 2005). Se consideran como restricciones los cuatro puntos de sujeción de la plancha en la cual se sostiene el resorte por la espira superior, se limitó el movimiento y la rotación en los tres ejes de coordenadas (Figura 2).

Materiales del dispositivo. Los elementos estructurales del dispositivo fueron construidos de acero aleado 1.7149 (20MnCrS5) para el caso del resorte, para la cuchilla y el eje de acero 1045 y el resto de los materiales acero 1020 según la norma DIN y AISI respectivamente y los criterios recomendados por Budynas y Keith, (2008); Dobrovolski (1990) y Reshetov (1985). En la Tabla 1, se presentan las propiedades mecánicas de estos materiales.

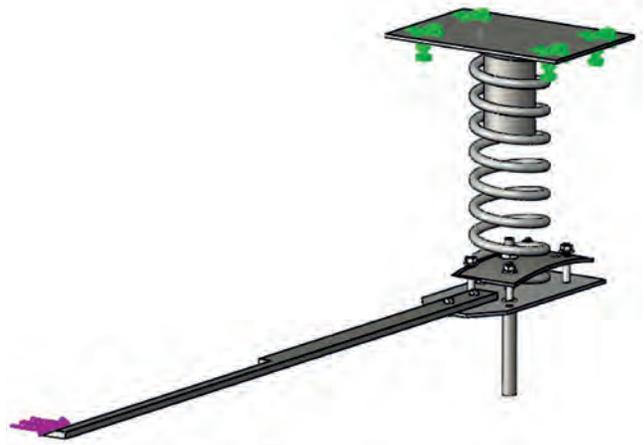


FIGURA 2. Carga y condiciones de frontera.

TABLA 1. Propiedades mecánicas de los materiales empleados en la construcción del dispositivo

Material	Módulo de elasticidad, MPa	Coficiente de Poisson	Tensión de fluencia, MPa
acero 1020	200 000	0,29	351,57
acero 1045	205 000	0,29	530
acero aleado 1,7149 (20MnCrS5)	210 000	0,28	750

Mallado Paramétrico: El modelo fue mallado tomando una malla sólida basada en curvatura con un total de 38 372 elementos cuadráticos de alto orden, con una dimensión media de 14,75 mm, se requirió un total de 69 316 nodos (Figura 3). En los agujeros pertenecientes a las uniones atornilladas se hizo necesario hacer un refinamiento de la malla con elementos de dimensiones de 4,9 mm.



FIGURA 3. Mallado paramétrico del dispositivo.

Para la determinación de la distribución de tensiones equivalentes (σ_{eq}) se aplica el criterio de Von Mises, para la

determinación de la zona más peligrosa del dispositivo, que está dado por la expresión:

$$\sigma_{vonMises} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} \quad (1)$$

donde:

σ_1 , σ_2 y σ_3 son las tensiones principales.

Se realiza la determinación del coeficiente de seguridad a partir de la obtención de las tensiones equivalentes para la zona más peligrosa y las tensiones límites o de fluencia atendiendo al tipo de material empleado para la construcción del dispositivo, según la siguiente expresión:

$$n = \frac{\sigma_{lim}}{\sigma_{eq}} \quad (2)$$

Para lo cual se debe cumplir la siguiente condición de resistencia mecánica:

$$\sigma_{eq} \leq \sigma_{lim} \quad (3)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de resistencia muestran que la fuerza máxima de tracción ejercida por el hombre, de 392 N, genera tensiones sobre la estructura del dispositivo, según el criterio de von Mises, que oscilan entre los valores de 0,0 a 245,4 MPa (Figura 4). Las tensiones máximas se ejercen en la zona

del borde interior del resorte, producto de la transmisión de la flexión causada por la fuerza de tiro ejercida en el extremo de la cuchilla, hacia el resorte que genera su torsión, siendo este elemento el punto más crítico de todas las partes componentes

del dispositivo, atendiendo al ángulo de inclinación de la espira y su diámetro, mientras que la tensiones mínimas se alcanzaron en la zona del extremo de la cuchilla, por lo que se cumple la condición de resistencia mecánica de la expresión 3.



FIGURA 4. Distribución de Tensiones (Von Mises).

La comprobación del diseño se realiza en función de la distribución del factor de seguridad, obteniendo un valor mínimo de 2,78, según la Figura 5, en la zona de la espira del resorte, lo que demuestra que el dispositivo es capaz de resistir las tensiones máximas actuantes, y con ello posee una reserva de resistencia comparada con las tensiones límites del material seleccionado para el caso del resorte, lo que permite su adecuado desempeño durante la determinación de la energía específica de los tallos gruesos.

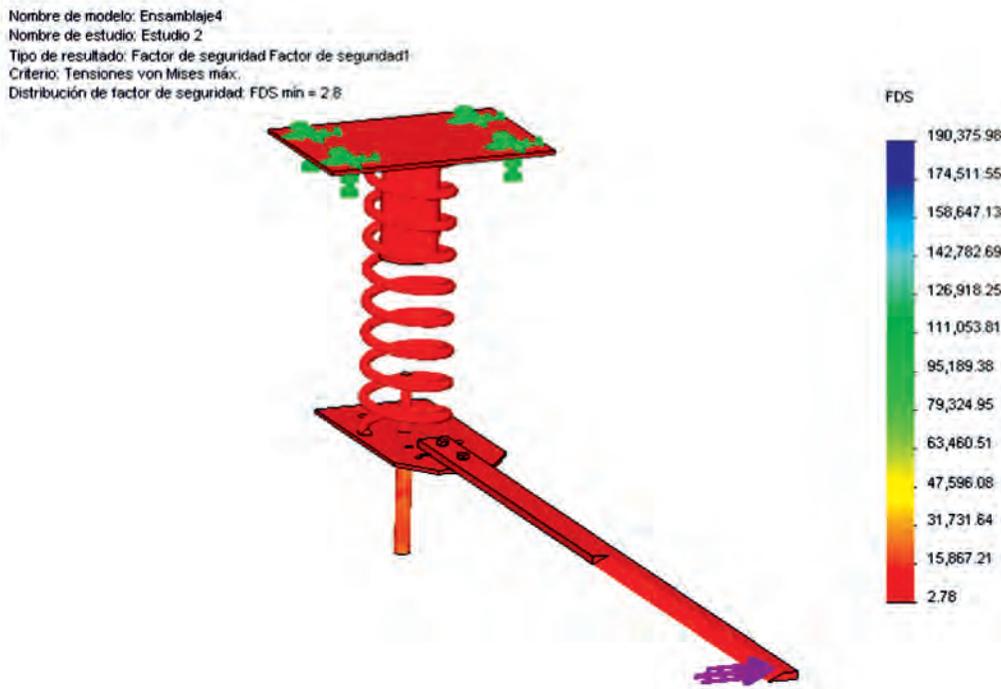


FIGURA 5. Distribución del factor de seguridad.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) y la Facultad de Ciencias Técnicas por permitir el desarrollo de

esta investigación con el apoyo brindado en la fabricación del dispositivo por parte del personal obrero y técnico. Asimismo al estudiante de la Universidad Autónoma de Chapingo por su dedicación en su estancia preprofesional.

CONCLUSIONES

- Las partes componentes del dispositivo son capaces de resistir las tensiones máximas de 245,4 MPa, que surgen bajo la acción de la fuerza aplicada al extremo de la cuchilla equivalente a la de un hombre.
- El mínimo factor de seguridad calculado (2,78) a partir de

las máximas tensiones originada evidencian que el dispositivo posee reservas en cuanto a la resistencia mecánica de su estructura.

- Los materiales empleados en la construcción del dispositivo garantizan la resistencia requerida para el trabajo sin fallos de sus elementos componentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUDYNAS, R. G. & K. NISBETT: *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, Octava edición en español por McGraw-Hill interamericana editores, S.A. de C.V. ISBN: 13: 978-970-10-6404-7, Impreso en México, 2008.
- CHATTOPADHYAY, P.S. & P. PANDEY: "Mechanical properties of sorghum stalk in relation to quasi-static deformation", *Journal of Agricultural Engineering Research*, ISSN: 1537-5110, 73: 199-206, 1999.
- CHATTOPADHYAY, P.S. & P. PANDEY: "Impact Cutting Behaviour of Sorghum Stalk using a Flail-cutter-a Mathematical Model and its Experimental Verification", *Journal of Agricultural Engineering Research*, ISSN: 1537-5110, 78(4): 369-376, 2001.
- CHEN, Y., GRATON, J. L., LIU, J.: "Power Requirements of Hemp Cutting and Conditioning" *Biosystems Engineering*, ISSN: 1537-5110, 87(4): 417-424, 2004.
- DOBROVOLSKI, V.: *Elementos de Máquinas*, ENPES (Empresa Nacional de Producción de Educación Superior), Reimpresión de la edición de 1980 realizada por la Editorial Mir-Moscú. ISBN: 0157-90, URSS, 1990.
- HERRERA P., M. I., A. GARCÍA DE LA FIGAL, E. RAMOS y M. MARTIN TEXEIRA: "Simulación mediante la dinámica de fluidos por computadora del efecto de la velocidad del viento en el desempeño de los pulverizadores agrícolas de ventilador", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 21(1): 5-11, 2012.
- LAFFITA L. A.; A. MARTÍNEZ; V. TOLEDO; Y. SABIN; P. VALDÉS: "Metodología para determinar la fuerza de arrastre de productos agrícolas a partir de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD)", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 23(4): 64-68, 2014.
- LAFFITA L. A.; RAMOS; A. GARCÍA DE LA FIGAL; P. VALDÉS; R. TORRES: "Diseño construcción y calibración de un transductor de fuerza tipo S", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 21(2): 11-16, 2012.
- MARTÍNEZ, A.; P. VALDÉS; J. DÍAZ; Y. MATURELL; D. VEGA: "Modelo matemático racional para el cálculo de la potencia consumida en molinos forrajeros de tambor", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 13(4): 9-14, 2004.
- NAVA, F. D; M. HERRERA; A.E. GARCÍA DE LA FIGAL; J. RUIZ: "Análisis resistivo de un nuevo arado de tracción animal mediante el Método de Elementos Finitos (MEF)" *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 21(1): 68-72, 2012.
- PÉREZ DE CORCHO, J. S. y F. GARBATI: "Modelo matemático para la demanda de potencia de un aparato de corte de eje vertical para trituración de rastrojos", *Ingeniería e Investigación*, ISSN-d: 0120-5609 28(3): set./dec., 2008.
- RAMOS C. E.; A. LAFFITA; A. GARCÍA DE LA FIGAL; P. VALDÉS; R. TORRES: "Determinación experimental del coeficiente de fricción dinámico suelo-metal en un suelo Ferralítico rojo" *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 21(3): 35-40, 2012.
- RESHETOV, D.: *Elementos de Maquinas*, Editorial Pueblo y Educación, SNLC: RB 01.24490.6, La Habana, Cuba, 1985.
- VALDÉS, H., P. A. y A. MARTÍNEZ: "Validación del modelo de cálculo de la potencia consumida por las picadoras de forraje del tipo de tambor con alimentación manual" *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 21(2): 5-10, 2012.
- VALDÉS, H. P. A.; A. MARTÍNEZ; Y. VALENCIA; E. BRITO: "Influencia del momento de inercia y de diferentes ángulos de alimentación constante sobre el calibre de las partículas de las picadoras de forraje del tipo de tambor con alimentación manual. Parte I", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 19(3): 53-56, 2010.
- VALDÉS, H. P. A.; A. MARTÍNEZ; R. AJALLA; E. BRITO y R. ALBONIGA: "Influencia del ángulo de deslizamiento y la velocidad de la cuchilla sobre la energía específica durante el corte de tallos de caña de azúcar" *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 18(1): 21-26, 2009.
- VALDÉS, H. P. A.; D. GONZÁLES y A. MARTÍNEZ: "Determinación experimental de propiedades físico – mecánicas de la caña de azúcar para su procesamiento en molinos forrajeros" *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 17(2): 1-6, 2008.

Recibido: 21 de febrero de 2015.

Aprobado: 13 de noviembre de 2015.

Publicado: 30 de diciembre de 2015.

María del Carmen Sigler, Prof. Asistente, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Correo electrónico: msigler@unah.edu.cu

Pedro A. Valdés Hernández, Universidad Agraria de La Habana, Correo electrónico: pvaldes@unah.edu.cu

Alexander Laffita Leyva, Universidad Agraria de La Habana, Correo electrónico: alex1@unah.edu.cu

Julio Cesar Ayala, Universidad Agraria de La Habana, Correo electrónico: juliocesar@unah.edu.cu

Teodoro Maldonado, Universidad Autónoma Chapingo, Correo electrónico: pvaldes@unah.edu.cu