

# Análisis del comportamiento resistivo del implemento de trabajo del multiarado MAU-250

## Resistive behavioral assessment of the work organ multi-plow MAU -250

José Félix Morales Leslie<sup>1\*</sup> y María Victoria Gómez Aguila<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas. Departamento Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba. <sup>2</sup>Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México, México. \*Autor para correspondencia: [jlesliem@udg.co.cu](mailto:jlesliem@udg.co.cu)

Acep.: 29.03.2014 Rec.: 12.07.2014

### Resumen

En el estudio se determinó el estado tensional del implemento de trabajo del multiarado MAU-250, para lo cual se efectuaron diferentes cálculos partiendo del uso del graficador Solidwork versión 2010. Inicialmente se construyó el modelo gráfico y se especificaron las condiciones de contorno, así como los materiales de fabricación de los distintos componentes y la aplicación de los esfuerzos a los receptores. Se utilizó un Vertisol ya que se considera que estos suelos por la resistencia al corte son adecuados para realizar ensayos sobre las características de los elementos de trabajo en maquinarias agrícolas. Se midieron las tensiones Von Mises, además los desplazamientos que estas provocan y la máxima tensión que soporta cada elemento fue comparada con el límite elástico del material. Finalmente se efectuó un estudio de optimización con el propósito de reducir los efectos del peso del implemento sobre la compactación de los suelos.

**Palabras clave:** Maquinaria de trabajo, laboreo agrícola, estado tensional, desplazamientos, multiarado.

### Abstract

The present work has as fundamental propose the determination of the tensional state of the organ of work of the Multi-Plow, for which took effect different actions departing of the use of the software Solidwork version 2010. Initially elaborated the model graphic of the organ of work and it is specified the contour' conditions as well as the materials that the different components were manufactured, applying to him those receiving components efforts. It was considered that the organ of he worked on conditions provoked by the shearing strength of a ground of the guy Vertisol, because these are propitious to sell off essays to agricultural machineries of work. It was determined him tensions Von Mises, besides the displacements that these provoke, the maximum tension that bore each element was compared to the elastic limit of the matter, at a later time a study of optimization in order to achieve decreasing the effects of the weight of implement on the compression of the grounds took effect.

**Key words:** Agricultural tilling, tensional state, displacements.

## Introducción

El escarificador con saetas conocido como multiarado MAU-250 es el implemento de mínimo laboreo desarrollado y más difundido en Cuba y el que mayor aplicación ha tenido en diferentes cultivos. En 1989 fue premiado por la Academia de Ciencias de Cuba. Entre sus componentes y características se encuentra un escarificador que realiza el corte vertical del suelo y una reja en forma de 'V' para el corte horizontal, con una estructura trapezoidal y una combinación de ángulos positivos y negativos en sus componentes, lo que le permite trabajar en posición flotante y romper, descompactar y mullir la capa del suelo labrada.

Bouza (1996) considera que las ventajas y beneficios de su utilización son las siguientes:

- No voltea las capas del suelo, restableciendo el equilibrio ecológico y su fertilidad natural, además eleva el contenido de materia orgánica y los rendimientos agrícolas.
- Mejora las propiedades físicas del suelo como estructura, capacidad de retención de agua y densidad aparente.
- Duplica la capacidad de trabajo del tractor y reduce hasta 50% el consumo de combustible, al requerir menor potencia de tracción que un arado convencional.
- Reduce los costos de producción y permite ahorrar hasta 30% en consumo de herbicidas.
- Elimina la compactación del suelo, al crear un estado poroso que garantiza el almacenamiento de agua y el crecimiento profundo de las raíces.
- Contribuye a evitar la erosión de los suelos.
- Favorece la nivelación superficial y el control de las malezas.

Según Leyva (2009) el multiarado es una de las alternativas tecnológicas más apropiadas para el laboreo mínimo del suelo en el cultivo de la caña de azúcar, ya que tiene la ventaja propia de este laboreo sin inversión tipo prisma. Es una alternativa adecuada para la preparación primaria del suelo, por tanto puede ser utilizado en lugar del arado de discos ya que realiza la misma labor que éste, pero con mejor calidad y menor consumo de energía; esto se observa en la reducción de la densidad aparente, con la ventaja de una mayor velocidad teórica

y ancho de trabajo y un menor consumo de combustible por área y menor esfuerzo unitario.

No obstante las ventajas antes citadas, es interesante realizar acciones para que los implementos de labranza agrícola afecten lo menos posible la compactación del suelo, especialmente cuando éste se encuentra húmedo o saturado y es más propenso a deformación.

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar el estado de tensión y deformación del implemento u órgano de trabajo del multiarado MAU-250. Para ello se tomó como base el Método de los Elementos Finitos (MEF) aplicado con frecuencia en los últimos tiempos en la determinación de los estados tensionales de piezas y elementos de maquinarias agrícolas. Pereira da Silva (2013) realizó un estudio estático del estado tensional de la estructura de una cosechadora de café de tipo automotriz, donde demostró los resultados favorables del uso de los MEF. Palma y González (2012) utilizaron esta metodología en estudios con bastidores de tractores para analizar su comportamiento y observar posibilidades de mejoramientos. Niemczewski *et al.* (2014) utilizando el MEF y el software SolidWork Simulation estudiaron el comportamiento estructural del chasis de una sembradora de cuatro líneas para agricultura familiar, encontrando que los resultados validados eran efectivos para este tipo de trabajo. Dragic *et al.* (2013) determinaron el estado tensional en un marco protector para un tractor con una potencia traccional de 65 kW utilizado en la cosecha de frutales, la simulación del comportamiento de este elemento mediante el software SolidWork Simulation reveló resultados satisfactorios. El resultado anterior muestra la efectividad de la aplicación de MEF en trabajos relacionadas con el comportamiento resistivo de componentes de máquinas agrícolas.

## Materiales y métodos

### Descripción del multiarado MAU-250

Las partes componentes del multiarado aparecen en la Figura 1, y el detalle del implemento de trabajo en la Figura 2.

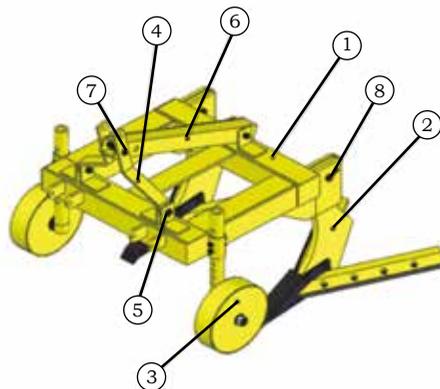


Figura 1. Vista de las partes del multiarado MAU-250.

Parte	Denominación	Código	Material	Cantidad
1	Bastidor	01-00-00PE	—	1
2	Implemento de trabajo	02-00-00PE	—	2
3	Rueda de campo	03-00-00PE	—	2
4	Tirante	01-00-01	AC-1020	2
5	Pasador I	00-00-02	AC-1035	2
6	Tirante II	00-00-03	AC-1020	1
7	Pasador II	00-00-04	AC-1035	2
8	Pasador III	00-00-05	AC 1035	2

### Determinación del estado tensional

Para determinar el estado tensional al cual se somete el implemento de trabajo durante el laboreo del suelo se siguió el procedimiento siguiente:

**Obtención del modelo gráfico.** Se utilizó el graficador Solidwork versión 2010 que

permite la obtención de modelos tridimensionales, así como la simulación de los esfuerzos a que puede estar sometido el implemento a evaluar con base en la utilización del modelo de los elementos finitos. En el procedimiento de modelado en cada pieza se asignaron materiales según los datos de la Figura 2.

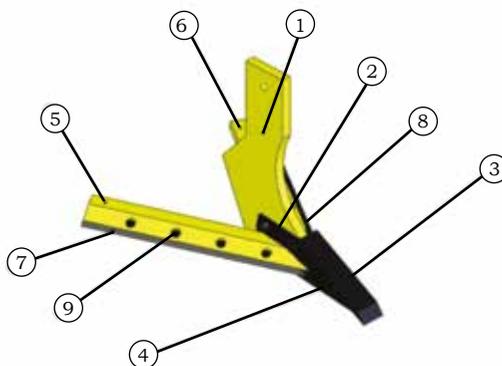


Figura 2. Vista general del implemento de trabajo.

Parte	Denominación	Código	Material	Cantidad
1	Escarificador	02-00-01	AC-1020	1
2	Fijador	02-00-02	AC1045	2
3	Cinzel	02-00-03	AC-65Mn	1
4	Planchuela base	02-00-04	AC-65Mn	1
5	Porta cuchilla der.	02-00-05	AC-1020	1
6	Porta cuchilla izq.	02-00-06	AC-1020	1
7	Cuchilla der.	02-00-07	AC-65Mn	1
8	Cuchilla izq.	02-00-08	AC-65Mn	1
9	Tornillo y tuerca M16	02-00-09	AC1035	8

**Declaración de las condiciones de contorno.** Para la simulación, se determinó que el estudio del conjunto analizado debería ser de tipo estático, ya que no existían datos consistentes que permitieran realizar

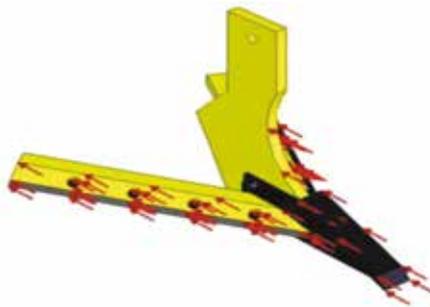
un estudio dinámico. Con este supuesto se declararon las condiciones de contorno aplicando restricciones al modelo que definen la sujeción de las piezas que lo integran (Figura 3).



**Figura 3.** Definición de las restricciones del modelo.

**Aplicación de las cargas.** En el modelo se consideró que la resistencia al corte es un índice de las posibilidades de preparación del suelo y da una idea sobre la fuerza necesaria para esta labor (Figura 4) y por consiguien-

te, del gasto energético para laboreo. En un Vertisol compactado este índice se estima entre  $2.40$  y  $2.76 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  en el perfil, a una profundidad entre  $10$  y  $30 \text{ cm}$  (Reyes Mora, 1980).



**Figura 4.** Cargas actuantes sobre el implemento de trabajo.

Coulomb (1876), citado por Santana y Fuentes (1998), estableció que la rotura del suelo por esfuerzo cortante ocurre en un plano en el que la tensión tangencial o cortante aplicada es igual a la cohesión de las partículas del suelo y a la fuerza de rozamiento que se genera por el desplazamiento relativo de las superficies que se forman.

Los vertisoles, por sus propiedades límite, resultan adecuados para pruebas con maquinaria agrícola, en especial el laboreo;

además, por la gran superficie que ocupan son representativos de la mayor parte de los suelos en Cuba (Agafonov, 1978; Betancourt *et al.*, 2007; Martin *et al.*, 1987). En este estudio se encontró que la saeta es el elemento que inicia la rotura del suelo y por no disponer de valores de fuerza traccional medidos en campo, era posible tomar los datos existentes de la resistencia a corte para suelos tipo vertisoles ( $2.76 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ) como presión que soportan los elementos que la

componen. En consecuencia, se decidió que la carga aplicada sería de  $3.31 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  considerando un factor de seguridad  $[n] = 1.2$ .

**Mallado.** En la Figura 5 se detallan las características y el tipo de mallado utilizado en el modelo.



Figura 5. Mallado del modelo.

Características de la malla aplicada al modelo.	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	22.1 mm
Tolerancia	1.10 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	20827
Número total de elementos	11787
% de elementos distorsionados	0

### Comparación de las tensiones obtenidas con el límite elástico de cada pieza.

Con el uso de la herramienta ISO-Superficies se identificaron las piezas del modelo que soportaban la tensión máxima indicada en el gráfico de tensiones obtenido.

**Análisis de los desplazamientos provocados por las tensiones.** Se identificaron los desplazamientos que ocurren en el implemento de trabajo, lo que permite evaluar si estos provocan cambios en el destino de servicio del objeto analizado.

### Propuestas de optimización

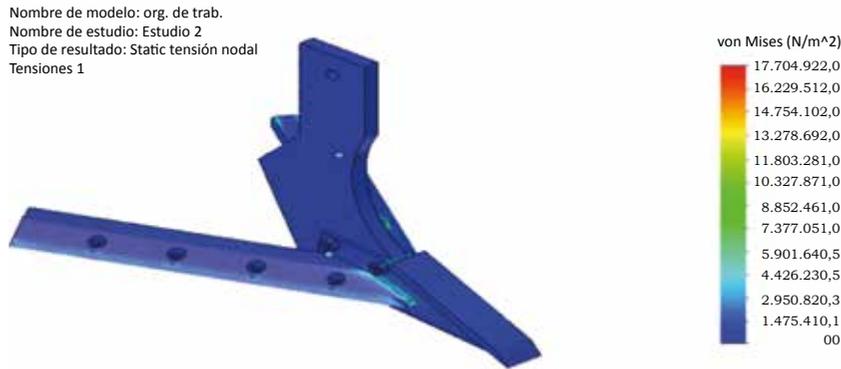
Teniendo en cuenta que la impresión mostró que el escarificador está sobredimensionado, se consideró que si los resultados del estudio del estado tensional eran favorables, se aplicaría un estudio de optimización para obtener una variante con menor espesor, lo que sería positivo para la reducción de la compactación del suelo y, por consiguiente, de los costos de operación.

Los espesores evaluados fueron 24 y 28, además se analizó el efecto de los esfuerzos laterales que se asumieron en 30% del esfuerzo a que era sometido el escarificador como resultado de la fuerza de corte necesaria para fracturar el suelo. Es importante señalar que el valor 30% de la fuerza cortante se eligió teniendo en cuenta el factor de seguridad  $[n] = 1.2$  que fue aplicado anteriormente en la determinación del estado tensional del implemento de trabajo.

## Resultados y discusión

### Determinación del estado tensional

Los valores de medición del estado tensional al que fue sometido el implemento de trabajo se pueden observar en la Figura 6. La máxima tensión fue  $17,704,922 \text{ N/m}^2$ , que al compararlo con el límite elástico de cada pieza, se observa que en ningún caso fue superior que el valor del límite elástico estimado en los valores de la misma Figura.

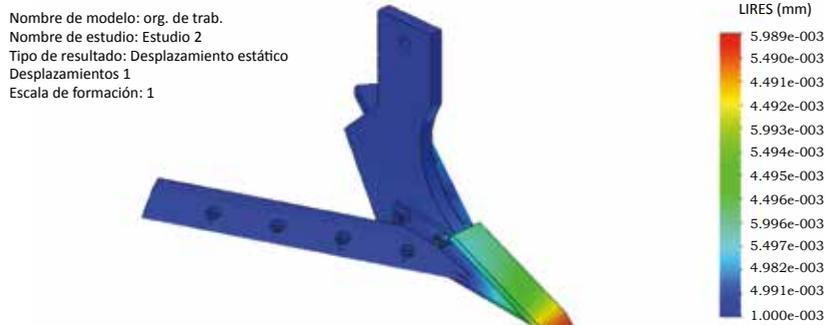


**Figura 6.** Estado tensional del implemento de trabajo del multiarado MAU 250

<b>Comparación entre el límite elástico y la tensión máxima en el implemento de trabajo.</b>		
<b>Denominación</b>	<b>Límite elástico (N/m<sup>2</sup>).</b>	<b>Máxima tensión (N/m<sup>2</sup>)</b>
Escarificador	351,571,000,0	17,704,922
Fijador	530,000,000,0	
Planchuela base	620,421,997.8	
Cinzel	620,421,997.8	
Porta cuchilla Izquierdo	351,571,000.0	
Porta cuchilla derecho	351,571,000.0	
Cuchilla izquierda	620,421,997.8	
Cuchilla derecha	620,421,997.8	

El análisis de los desplazamientos permite concluir que aquellos que ocurren cuando actúan las tensiones antes citadas no son significativos, no afectan de

manera negativa el destino de servicio del implemento de trabajo y la mayor magnitud ocurre sobre la pieza denominada cinzel (Figura 7).



**Figura 7.** Desplazamientos provocados por las tensiones sobre el implemento de trabajo.

Los resultados establecen que el implemento de trabajo puede ser sometido al proceso de optimización, debido a que los esfuerzos y los desplazamientos provocados por la resistencia al corte del suelo se encuentran por debajo de su capacidad de resistencia; por tanto, se realizó un proceso de optimiza-

ción sobre el escarificador considerando una profundidad de trabajo de 0.35 m.

### **Propuesta de optimización**

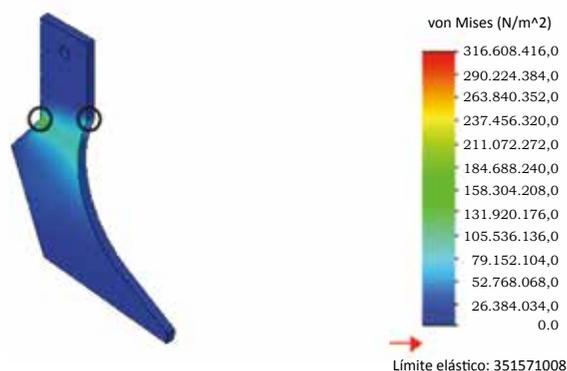
En el Cuadro 1 aparecen los valores del resultado de la optimización del implemento de trabajo.

**Cuadro 1.** Valores de cota y tensión de la prueba de optimización de esfuerzos del implemento de trabajo del multiarado MAU-250, en tres escenarios diferentes

Variables	U	Óptimo	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Cota	Mm	24	24	28	32
Tensión-1	N/m <sup>2</sup>	3.16x10 <sup>8</sup>	3.16x10 <sup>8</sup>	2.35x10 <sup>8</sup>	1.99x10 <sup>8</sup>

Se observa que el escenario óptimo para el estado tensional analizado ocurre con un escarificador de 24 mm de espesor, lo que representa una disminución de peso del 25%, con respecto al escenario 3 que es la variante original. La validación de la variante óptima está dada por los resultados que aparecen

en la Figura 8 de tensiones de Von Mises, donde se confirma que es posible utilizar una variante de escarificador con este espesor. En la Figura se observan, marcadas con círculos, las zonas de máximas tensiones, por lo que se recomienda atenuar las mismas mediante refuerzos con biseles.

**Figura 8.** Tensiones Von Mises en la variante más óptima.

## Conclusiones

- El estado tensional a que es sometido el implemento de trabajo en el multiarado MAU-250 no afecta el trabajo que cumple normalmente, ya que los esfuerzos no sobrepasan el límite elástico de cada pieza que lo conforman.
- Los desplazamientos que se presentan no son significativos y son provocados por tensiones que no exceden el límite elástico del implemento de trabajo.
- Es posible reducir el espesor del escarificador a 24 mm, lo que disminuye los costos de operación y los efectos del peso en la compactación del suelo.

## Referencias

- Agafonov, O.; Delgado, M. R.; Rivero, L.; y Tatevosian, G. 1978. Propiedades físicas de los vertisuelos de Cuba, relacionadas con las particularidades de su génesis. *Cien. Agric.* 3:47 - 80.
- Bouza, H.; Serba, G.; Villegas, R.; Ronzoni, C.; Hernández, S.; Martínez, J.; y Berra, E. 1996. Nueva tecnología de labranza mínima en la CPA. *Amistad Cuba- Laos.* Abril - junio. Cañaveral, Cuba 2(2):4 - 9,.
- Betancourt, Y.; Rodríguez, M.; Gutiérrez, A.; Velarde, E.; y García, I. 2007. Evaluación del mullido y el perfil descompactado de diferentes tecnologías de laboreo mínimo en suelos arcillosos pesados del norte de Villa Clara. *Rev. Cien. Téc. Agrop.* 16 (1):70- 73.

- Dragic, M.; Dimic, N.; y Markovic, D. 2013. FEM Analysis of Protective Frame on orchard tractors in rollovercase. *Agric. Eng.* 38(4):9 - 15.
- Leyva, S. y Osvaldo, N. 2009. Fundamentación de una tecnología para laboreo mínimo de suelos Vertisoles basada en la aplicación de una máquina compleja en caña de azúcar. Tesis Doctora. Habana, Cuba, Universidad Agraria de la Habana. 19 p.
- Martín O., Gálvez, J. R.; De Armas, R.; Espinosa, R.; Vigoa, R.; y León, A. 1987. La caña de azúcar en Cuba. Editorial Científico-Técnica. La Habana. 602 p.
- Niemczewski, B. K.; Dos Reis, A. V.; Machado, R. L.; y Machado, A. L. 2014. Validação de um modelo de cálculo por elementos finitos do chassi de uma semeadora de quatro linhas. *Jaboticabal. Eng. Agr.* 34:161 - 170.
- Palma, A y Gonzales, B. 2012. Entre bastidores: Evaluación empleando métodos numéricos. Congreso de Estudiantes Universitarios de Ciencia, Tecnología e Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Madrid. p. 71 - 74.
- Pereira da Silva, E. 2013. Elementos finitos como herramienta para el análisis estructural estático de una cosechadora de café del tipo automotriz. Tesis para optar por el grado de MSc. Brasil. Universidad Federal de Lavras. 144 p.
- Reyes Mora, F. 1980. Investigación sobre distintas formas de preparación de suelos antes de la siembra del cultivo de la caña en condiciones de Cuba. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Bulgaria. Instituto Superior de Ciencias Agrícolas. 165 p.
- Santana, M. y Fuentes, J. B. 1998. Preparación sustentable del suelo. Octubre - diciembre Cuba. *Cañaveral* 44:7 - 11.