

Análisis de succión y estabilidad en apero para la preparación localizada del suelo para caña de azúcar



Analysis of Suction and Stability of Implement in Localized Soil Preparation for Sugarcane Planting

<http://opn.to/a/yqGSa>

Yarian Reyes-Suárez^{1*}, Arturo Martínez-Rodríguez¹, Armando Eloy García de la Figal-Costales¹, Ernesto Ramos-Carbajal¹, Miguel Ángel Zaldívar-Fernández¹

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

RESUMEN: Actualmente es interés de la agricultura cañera cubana la introducción de métodos conservacionistas durante la preparación de suelos para la siembra de caña de azúcar. La preparación localizada del suelo efectuada exclusivamente en la zona de crecimiento radicular de los plántones, constituye una alternativa viable, tanto desde el punto de vista de la conservación del suelo, como de economía de recursos energéticos que se dedican a la preparación de grandes extensiones de tierra. En este sentido, ha sido objeto de desarrollo un apero con una hilera de cuatro órganos escarificadores de alas, escalonados de menor a mayor profundidad, dejando un perfil trapezoidal en el plano transversal del suelo desterronado, según las exigencias de la siembra. En el proceso de diseño de este equipo ha sido necesario efectuar determinados análisis relacionados con la succión y estabilidad, desarrollándose un método analítico y un software que facilita estos análisis, evitando el empleo de engorrosos métodos gráficos tradicionales, basados en la elaboración de polígonos de fuerza y de rayos, que dificultan la evaluación de múltiples variantes. La aplicación de este método al agregado formado por un tractor YTO-1604 y el escarificador escalonado, posibilitó determinar la posición más adecuada para la rueda de apoyo, así como para el centro instantáneo de rotación del mecanismo de suspensión del tractor. Asimismo fue posible evaluar la incidencia del ángulo de la cuña sobre las condiciones de succión y estabilidad.

Palabras clave: plantación, caña de azúcar, diseño, preparación suelo.

ABSTRACT: Nowadays, it is interest of Cuban sugarcane agriculture, the introduction of conservationist methods during the preparation of soils for sugarcane sowing. Localized soil preparation, done exclusively in the area of root growth of the seedlings, is a viable alternative, both, from the point of view of soil conservation, as well as from point of view of economy of energy resources that are dedicated to the preparation of large areas of land. In this sense, a tillage implement having four staggered shanks with “V”- shaped blades has been developed, leaving a trapezoidal profile in the transverse plane of the soil removed, according to the demands of sowing. In the design process of this equipment, it was necessary to carry out certain analyses related to suction and stability, developing an analytical method and software that facilitates these analyses, avoiding the use of cumbersome traditional graphic methods, based on the construction of force polygons and rays, which make it difficult to evaluate multiple variants. The application of this method to the aggregate formed by an YTO-1604 tractor and a the tillage implement with four staggered shanks, made it possible to determine the most suitable position for the support wheel, as well as for the instantaneous center of rotation of the tractor suspension mechanism. It was also possible to evaluate the incidence of the wedge angle on the conditions of suction and stability.

Keywords: plantation, sugarcane, design, soil preparation.

*Autor para correspondencia: Yarian Reyes Suárez. e-mail: yarian@unah.edu.cu

Recibido: 27/06/2017

Aceptado: 11/09/2018

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), se cultiva en las regiones tropicales y subtropicales, creciendo significativamente las exportaciones entre los años 2000 y 2011, fundamentalmente en Brasil, que pasó de exportar 6 500 000 t en 2000 a 25 500 000 t en 2011, siendo el mayor exportador mundial de azúcar, seguido por México, Guatemala y Colombia. En el año 2000 Cuba era el segundo mayor exportador de azúcar en la región, registrando 3 500 000 t, cayendo en 2011 a 648 000 t según [FAO \(2014\)](#), manifestándose en los últimos años una disminución significativa de la producción de azúcar, entre otros factores, debido a los bajos rendimientos agrícolas, por lo que se ha considerado necesario realizar cambios en las prácticas agrícolas actuales ([Herrera et al., 2003](#); [Leyva et al., 2007](#); [Betancourt et al., 2008](#)). Entre las que se ejecuta el cambio del marco de siembra tradicional al de surcos de doble hilera ([Romer et al., 2009](#); [Gómez et al., 2011](#); [Ullah et al., 2016](#); [Guru et al., 2017](#)). Paralelamente se desarrollan equipos que se adapten a estos nuevos sistemas de plantación, incluyendo los destinados a la preparación de los suelos para la siembra.

[Cruz et al. \(2018\)](#) plantean que en la actualidad las tecnologías que se emplean para la preparación del suelo son: la tecnología convencional y la conservacionista. Esta última se basa fundamentalmente en la preparación localizada del suelo efectuada exclusivamente en la zona de crecimiento radicular de los plántones, constituyendo una alternativa viable, tanto desde el punto de vista de la conservación del suelo, como de economía de recursos energéticos que se dedican a la preparación de grandes extensiones de tierra.

Como parte del proyecto nacional *Incremento de la efectividad de los procesos mecanizados en la producción de caña de azúcar en la Unidad Empresarial de Base “Héctor Molina Riaño”*, perteneciente al programa: Desarrollo de la Agroindustria Azucarera, que ejecuta el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) de la Universidad Agraria de La Habana, se realiza la tarea: *Desarrollo y evaluación de apero de preparación localizada del suelo*, requiriéndose durante el proceso de diseño de este equipo,

efectuar determinados análisis relacionados con la succión y estabilidad, para lo cual se ha desarrollado un método analítico y un software que facilita estos análisis, evitando el empleo de engorrosos métodos gráficos tradicionales, basados en la elaboración de polígonos de fuerza y de rayos, que dificultan la evaluación de múltiples variantes.

En el presente trabajo se expone el método y el software desarrollados, a través de su aplicación en un estudio de caso del agregado formado por un tractor de ruedas de goma YTO-1604 y un escarificador escalonado de cuatro cuerpos que se desarrolla para la preparación localizada del suelo destinado a la siembra de caña de azúcar en surcos de doble hilera.

MÉTODOS

Fundamentación teórico-metodológica

Para desarrollar el método analítico de cálculo y el software correspondiente, se partió de la modelación mecánico-matemática de la interacción del agregado con el suelo, aplicando las leyes de la mecánica al sistema tractor-aperosuelo. En la [Figura 1](#) se muestra una vista en isométrico del escarificador objeto de estudio, donde puede apreciarse el escalonamiento de cuatro cuerpos escarificadores con saetas que laboran a diferente profundidad, siguiendo el principio de la brocha mecánica ([Albóniga, 2011, 2015](#); [Domínguez et al., 2014](#)).

Las condiciones de estabilidad se evalúan determinando las cargas que actúan sobre las ruedas del tractor, tanto las traseras, como las delanteras. En este caso se efectúa un análisis correspondiente a un tractor con tracción en las ruedas traseras. Es preciso aclarar que el análisis efectuado corresponde al plano longitudinal-vertical (x-y).

En la [Figura 2](#) se muestra el sistema de fuerzas que actúan sobre el agregado formado por un tractor YTO-1604 de ruedas de goma con tracción en las ruedas traseras y el escarificador escalonado.

Para el logro de un buen “agarre” o adhesión de las ruedas traseras, que posibilite la transmisión de la potencia demandada en su interacción con el suelo, se requiere una determinada fuerza de reacción normal (Nt) en la rueda trasera o motriz ([Figura 2](#)). Si esta fuerza

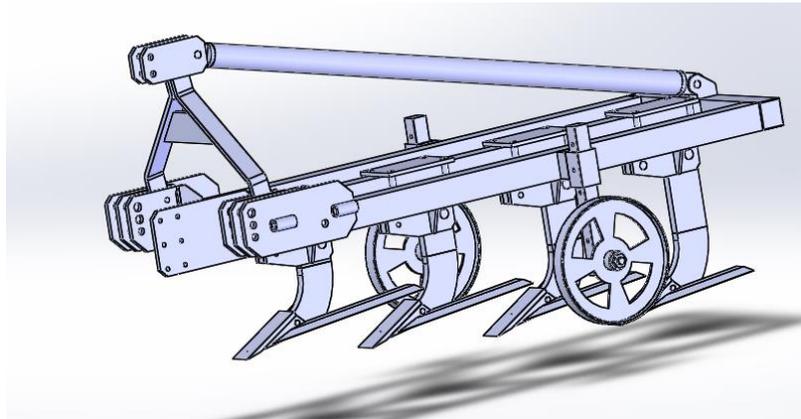


FIGURA 1. Representación en isométrico del escarificador escalonado objeto de estudio.

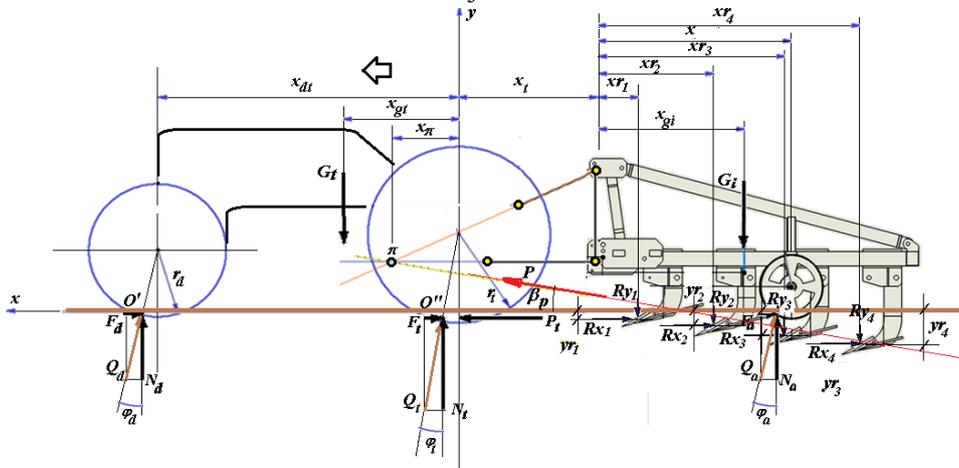


FIGURA 2. Sistema de fuerzas que actúan en el agregado tractor-escarificador escalonado.

no alcanza un valor suficiente, entonces puede producirse el patinaje de las ruedas y no transmitirse la componente horizontal (P_t) de la fuerza de tiro requerida para el trabajo del implemento agregado al tractor. En este caso el trabajo del agregado se considera inestable.

Claro está que existen otros parámetros que influyen en la capacidad de la rueda motriz para transmitir la potencia requerida a través del suelo, entre los que se encuentran la adherencia del propio suelo y su estado de compactación y humedad, así como el propio diseño de los neumáticos.

Por otro lado, con relación a las ruedas delanteras, para garantizar una buena dirección del tractor, se requiere una carga (N_d) adecuada sobre dichas ruedas, que no debe ser excesiva, pero tampoco insuficiente, pues en este caso pudiera dificultarse el control de la dirección del tractor y en el caso extremo, producirse el levantamiento de las ruedas delanteras.

Un trabajo estable del agregado se complementa con una adecuada “succión” del apero que garantiza la penetración natural de los órganos escarificadores en el suelo con el sistema de suspensión trabajando en posición flotante.

El modelo que se presenta es implementado de forma tal que facilite la evaluación de la influencia de diferentes parámetros sobre las características de succión y estabilidad del sistema. Entre estos parámetros que se toman como variables de entrada, se encuentran la posición de la rueda de apoyo, el ángulo de las cuñas que conforman el escarificador y la posición del centro instantáneo de rotación del sistema de suspensión del tractor (punto π en la [Figura 2](#)), que a la vez constituyen elementos de diseño o regulación del equipo.

Las fuerzas y coordenadas que aparecen en la [Figura 2](#) son las siguientes:

- P - Fuerza de tiro requerida para el movimiento del agregado;
 β_p - es el ángulo que forma con la horizontal la resultante P de la resistencia a la tracción del escarificador;
 P_t - Componente horizontal de la fuerza de tiro;
 R_{x_i} y R_{y_i} - son las componentes de la fuerza de resistencia que actúa en cada órgano;
 R_{xy} - es la resultante de las fuerzas de resistencia del suelo a la acción de los órganos de trabajo;
 Q_a , Q_t y Q_d - son las reacciones del suelo sobre la rueda de apoyo del implemento, la rueda trasera del tractor y la rueda delantera del tractor, respectivamente;
 F_a , F_t y F_d - son las componentes horizontales (fricción por rodadura) de las reacciones Q_i ;
 N_a , N_t y N_d - son las componentes normales de las reacciones Q_i ;
 φ_a , φ_t y φ_d - son los ángulos de resistencia a la rodadura de la rueda de apoyo del implemento, la rueda trasera del tractor y la rueda delantera del tractor, respectivamente;
 G_a y G_t - son los pesos del apero y del tractor, respectivamente;
 r_a , r_t y r_d - son los radios de la rueda de apoyo del implemento, la rueda trasera del tractor y la rueda delantera del tractor, respectivamente;
 x_{r_i} ; y_{r_i} - son las coordenadas correspondientes a los puntos de aplicación de las fuerzas que actúan sobre los múltiples cuerpos que componen el escarificador;
 x_π , y_π - son las coordenadas del centro instantáneo de rotación del mecanismo de suspensión;
 x - es la coordenada horizontal de la posición del centro de la rueda de apoyo del apero;
 x_{ga} - es la coordenada horizontal del centro de gravedad del apero;
 x_t ; x_{dt} ; x_{gt} - son las coordenadas de diferentes puntos característicos del tractor.

Para poder efectuar un análisis de estabilidad del agregado, se requiere determinar los valores de las reacciones verticales que actúan sobre las ruedas del tractor. Para ello se efectúa un análisis quasi-estático, considerando que el agregado se desplaza a velocidad constante, lo que permite aplicar las ecuaciones de equilibrio estático de las fuerzas y momentos en el plano x-y, o sea:

$$\sum F_x=0; \sum F_y=0; \sum M=0$$

Para el análisis se parte de que se ha efectuado previamente un estudio del implemento, donde se ha garantizado las condiciones de succión, de manera que la resultante de las fuerzas R_{xy} , Q_a y G_a pase por el centro instantáneo de rotación (punto μ) del sistema de suspensión y que la resultante de las fuerzas G_a y R_{xy} , provoquen un momento en el sentido de profundización de los órganos de trabajo (sentido de las agujas del reloj en la [Figura 2](#)). Asimismo se parte del conocimiento de las magnitudes, direcciones y puntos de aplicación de dichas fuerzas. También son conocidas las características geométricas del tractor y su peso y posición del centro de gravedad.

Las incógnitas objeto de determinación para el análisis son las reacciones en las ruedas delanteras (Q_d), en las ruedas traseras (Q_t) y en las ruedas de apoyo (Q_a). Asimismo es

necesario comprobar la condición de penetración o succión del implemento.

Como punto de partida es necesario determinar las cargas sobre los órganos de trabajo, las cuales pueden calcularse conociendo la resistencia específica de ese tipo de órganos. En el caso de los órganos escarificadores escalonados, los órganos de trabajo están compuestos de cuñas con saetas. Los órganos de cuña con saetas han sido estudiados por [Albóniga \(2015\)](#), contándose con datos sobre la resistencia específica de este tipo de órgano en suelos del tipo ferralíticos-rojo, de manera que conociendo este indicador y el área transversal de suelo que remueve cada cuerpo, es factible determinar la fuerza de tiro correspondiente a cada órgano de trabajo, mediante la expresión:

$$R_{xi}=K_e \cdot A_i \quad (1)$$

donde:

R_{xi} - Componente horizontal de la fuerza de tiro correspondiente al órgano i ésimo, N;

K_e - Coeficiente de resistencia específica; N/m²;

A_i - Área transversal de la sección del suelo correspondiente al órgano i ésimo, m².

Las áreas A_i se determinan sobre la base de la geometría de los implementos ([Figura 3a](#)).

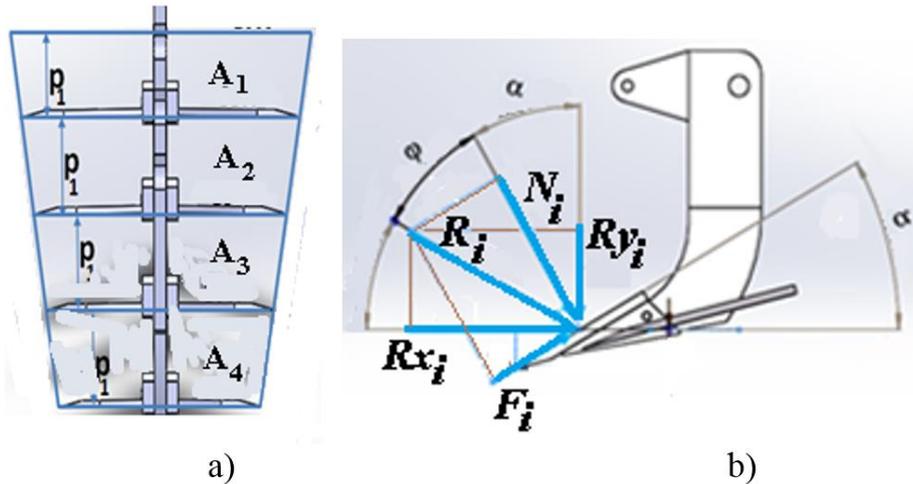


FIGURA 3. a) Vista frontal del implemento; (b) vista lateral de uno de los órganos.

La componente vertical y la resultante de la fuerza de tiro en cada órgano se determinan mediante las expresiones trigonométricas:

$$R_{yi} = R_{xi} \cdot \cot(\alpha + \varphi) \quad (2)$$

$$R_{xyi} = R_{xi} \cdot \csc(\alpha + \varphi) \quad (3)$$

donde:

α - ángulo de la cuña con la horizontal;

φ - ángulo de fricción por deslizamiento cuña-suelo.

Las fuerzas de fricción por rodadura en las ruedas de apoyo (F_a), delanteras (F_d) y traseras del tractor (F_t) están relacionadas con las reacciones normales a través de los coeficientes de resistencia a la rodadura respectivos (μ_a, μ_d y μ_t):

$$F_a = \mu_a \cdot N_a = \tan \varphi_a \cdot N_a \quad (4)$$

$$F_d = \mu_d \cdot N_d = \tan \varphi_d \cdot N_d \quad (5)$$

$$F_t = \mu_t \cdot N_t = \tan \varphi_t \cdot N_t \quad (6)$$

El coeficiente de resistencia a la rodadura depende del tipo y características del suelo, de las dimensiones y características de las ruedas y su presión de inflado, entre otros factores. En la Figura 4, se brinda un nomograma que posibilita determinar con suficiente aproximación este coeficiente para el caso de ruedas de goma (Sablikov, 1978).

La reacción vertical en las ruedas de apoyo se determinan tomando momentos con relación al centro instantáneo de rotación (π) del mecanismo de suspensión (Figura 2):

$$N_a = \frac{G a (x_{ga} + x_t + x_\pi) + \sum R_{yi} (x_{ri} + x_t + x_\pi) - \sum R_{xi} (y_{ri} + y_\pi)}{(x - r a \cdot \sin \varphi_a + x_t + x_\pi) + \mu_a \cdot y_\pi} \quad (7)$$

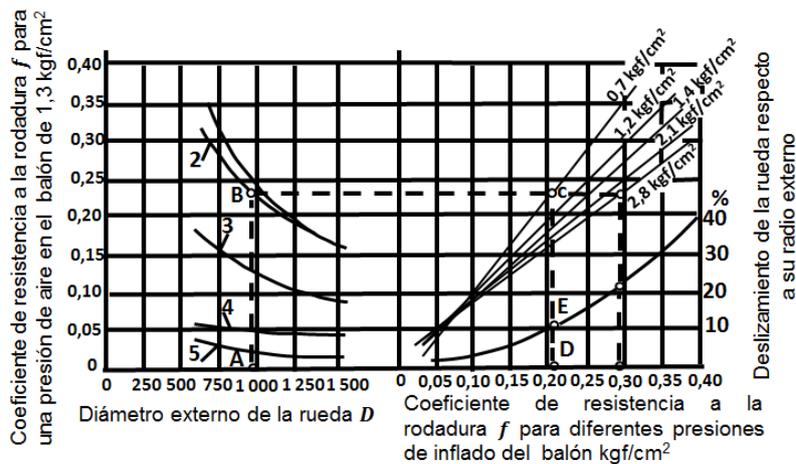


FIGURA 4. Coeficiente de resistencia a la rodadura y deslizamiento de las ruedas neumáticas: 1-suelo arenoso suelto; 2-suelo semiarcilloso labrado; 3-suelo de sembradío; 4-suelo cosechado; 5-asfalto. Fuente: Sablikov, (1978).

$$Q_a = \sqrt{F_a^2 + N_a^2} \quad (8)$$

La condición de penetración o succión del implemento se determina tomando momentos respecto al centro instantáneo de rotación π de las fuerzas G_a y R_{xy_i} y comprobando su sentido positivo (a favor de las agujas del reloj en la [Figura 2](#)), ([Ec. 9](#)).

Para determinar la reacción vertical en la rueda trasera del tractor se plantea el equilibrio de momentos con respecto al punto de apoyo de la rueda delantera (O') y se despeja N_t ([Ec. 10](#)).

Una vez conocidos N_a y N_d , entonces se determina la reacción vertical en los neumáticos delanteros (N_d), planteando el equilibrio de fuerzas en el eje vertical:

$$N_d = R_{y1} + R_{y2} + R_{y3} + R_{y4} + G_t + G_i - N_t - N_a \quad (11)$$

La componente horizontal de la fuerza total de tiro del agregado P_t se determina planteando el equilibrio de fuerzas en la dirección del eje x:

$$P_t = F_t + F_d + F_a + R_{x1} + R_{x2} + R_{x3} + R_{x4} \quad (12)$$

Los componentes R_{x_i} , F_a , F_d y F_t se determinan de las [expresiones 1, 4, 5 y 6](#).

La fuerza de tiro demandada por el apero, sin considerar el tiro requerido por el propio tractor, se determina como:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} \quad (13)$$

donde:

$$P_x = R_x + F_a \quad (14)$$

$$P_y = R_y + G_i - N_a \quad (15)$$

El ángulo que forma la fuerza de tiro del apero con la horizontal estará dada por:

$$\beta_p = \text{atan}\left(\frac{P_y}{P_x}\right) \quad (16)$$

El conjunto de ecuaciones desarrolladas, fueron programadas empleando el software Mathcad 2000 Professional, obteniéndose el comportamiento de los diferentes parámetros en función de la posición de las ruedas de apoyo del apero, así como de la posición del centro instantáneo de rotación π y del ángulo de las cuñas del escarificador. El programa fue evaluado introduciendo los siguientes datos, que corresponden al agregado objeto de estudio:

- Resistencia específica media: $K_e = 90 \text{ kN/m}^2$;
- Área transversal del suelo correspondiente a cada órgano:
- Ángulo de fricción por deslizamiento suelo-acero: $\varphi = 30.96^\circ$;
- Ángulo de las cuñas con la horizontal: $\alpha = 20^\circ$; 30° ; 40° ;
- Peso del apero: $G_a = 3.468 \text{ kN}$;
- Peso del tractor: $G_t = 71.15 \text{ kN}$;
- Coeficientes de resistencia a la rodadura de las ruedas :
 $\mu_a = 0.24$; $\mu_d = 0.17$; $\mu_t = 0.14$
- Radios de las ruedas: $r_a = 0.158$, $r_t = 0.875$ y $r_d = 0.656$
- Coordenada horizontal de la posición del centro de la rueda de apoyo del apero:
 $x = 0 \dots 2 \text{ m}$;
- Coordenadas del centro instantáneo de rotación del mecanismo de suspensión:

$$\sum M_\pi = G_a (x_{ga} + x_t + x_\pi) + \sum R_{y_i} \cdot (x_{r_i} + x_t + x_\pi) - \sum R_{x_i} \cdot (y_{r_i} + y_\pi) > 0 \quad (9)$$

$$\sum_{(O')} M = 0 \quad + \curvearrowright$$

$$-N_t [x_{dt} + r_d \cdot \sin(\phi_d) - r_t \cdot \sin(\phi_t)] + G_t \cdot (x_{dt} - x_{gt} + r_d \cdot \sin(\phi_d)) + \dots \quad (10)$$

$$\dots + G_i \cdot (x_{dt} + x_t + x_{gi} + r_d \cdot \sin(\phi_d)) + \sum R_{y_i} \cdot (x_{r_i} + x_t + x_{dt} + r_d \cdot \sin(\phi_d)) - \dots$$

$$\dots - \sum R_{x_i} \cdot (y_{r_i}) - N_a \cdot \left[x_{dt} + x_t + \frac{x}{10} + r_d \cdot \sin(\phi_d) - r_a \cdot \sin(\phi_a) \right] = 0$$

$x_{\pi} = 0.60; 1.20; 1.80$ m; $y_{\pi} = 0.25; 0.50; 0.75$ m;

- Coordenadas correspondientes a los puntos de aplicación de las fuerzas:
- Coordenadas de diferentes puntos característicos del agregado:

$x_t = 1.338$ m; $x_{dt} = 2.887$ m; $x_{gt} = 1.094$ m; $x_{ga} = 0.525$ m;

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Como resultado de la evaluación del sistema de ecuaciones desarrollado, auxiliados por su programación computarizada en Mathcad 2000 Professional, se obtuvo el comportamiento de los principales parámetros de salida en función de la posición de las ruedas de apoyo del apero, del ángulo de la cuña y de la posición del centro instantáneo de rotación del sistema de suspensión, lo cual se muestra en forma gráfica en las Figuras 5, 6 y 7.

De los gráficos se aprecia que a medida que se aleja el centro de las ruedas de apoyo con respecto a los puntos de enganche del sistema de suspensión, se incrementa en todos los casos, la magnitud de la componente vertical (P_y) de la fuerza de tiro y su ángulo (β_p) con respecto a la horizontal, lo que repercute en el incremento de

la reacción vertical (N_t) en las ruedas traseras del tractor, a expensas de una descarga de las ruedas de apoyo del apero, disminuyendo N_a . También se aprecia en todos los casos un incremento, aunque ligero, de la carga vertical (N_d) sobre las ruedas delanteras del tractor.

Es de interés notar que, para posiciones de la rueda de apoyo muy cercanas a los puntos de suspensión al tractor, puede cambiar de signo la componente vertical P_y de la fuerza de tiro y ser negativo el ángulo β_p , perdiéndose la condición de succión o penetración del apero. Esta situación es más acentuada para valores menores del ángulo α de la cuña y para una pequeña altura y_{π} del centro instantáneo de rotación del mecanismo de suspensión.

Asimismo se destaca el hecho de que la posición horizontal x_{π} del centro instantáneo de rotación (Fig. 6) presenta menos influencia en la variación de los diferentes parámetros evaluados, si se compara con relación a la posición vertical y_{π} , cuya variación provoca variaciones significativas en los valores de las reacciones verticales del suelo sobre las ruedas, tanto del tractor, como del apero.

El equipo objeto de estudio presenta, como propuesta de los diseñadores, una posición de la rueda de apoyo $x = 1.60$ m, así como un ángulo

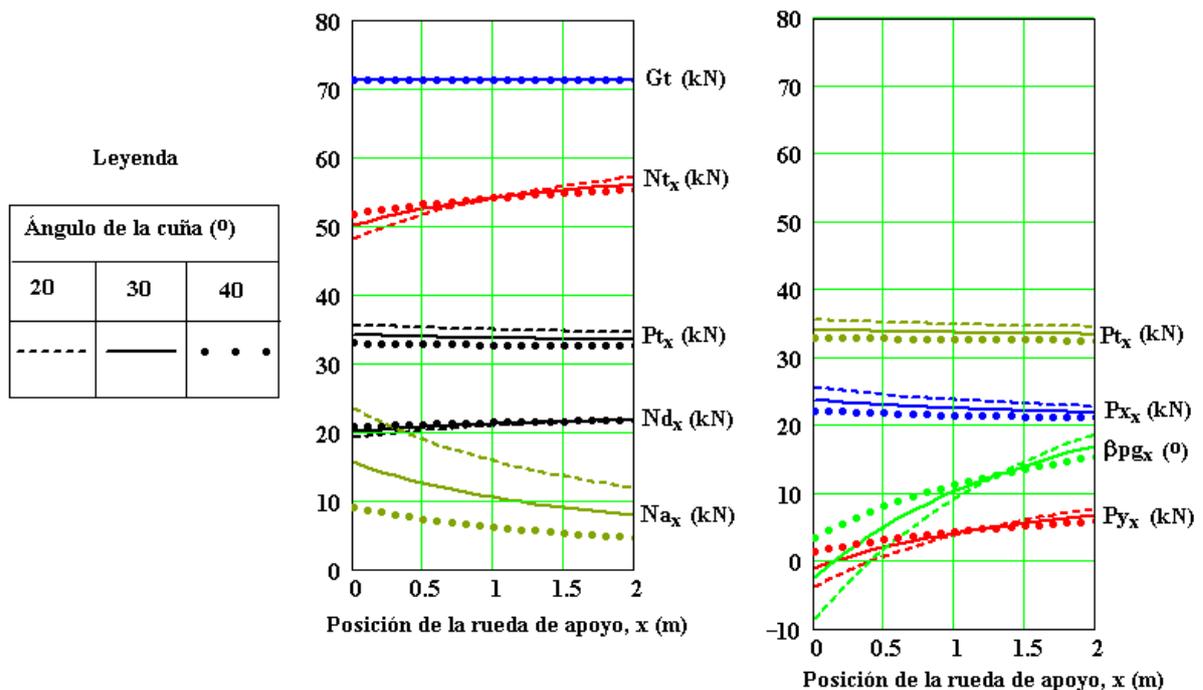


FIGURA 5. Variación de los diferentes parámetros en función de la posición de la rueda de apoyo y del ángulo de la cuña.

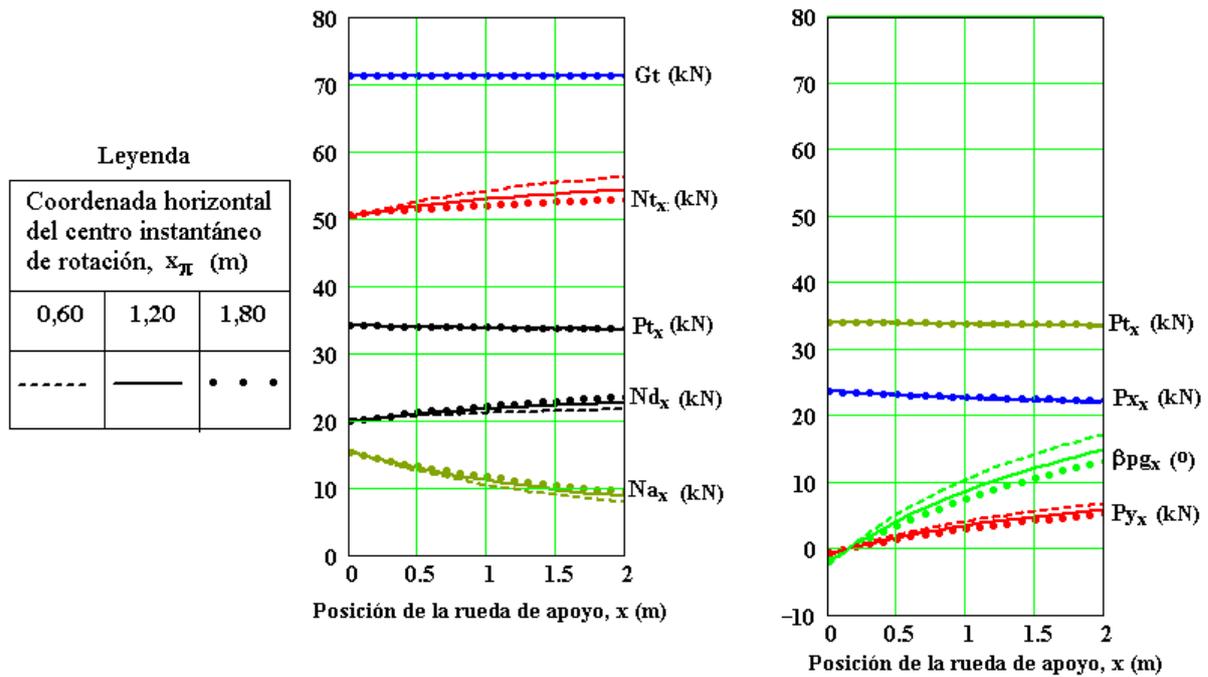


FIGURA 6. Variación de los diferentes parámetros en función de la posición de la rueda de apoyo y de la coordenada horizontal (x_p) del centro instantáneo de rotación del sistema de suspensión.

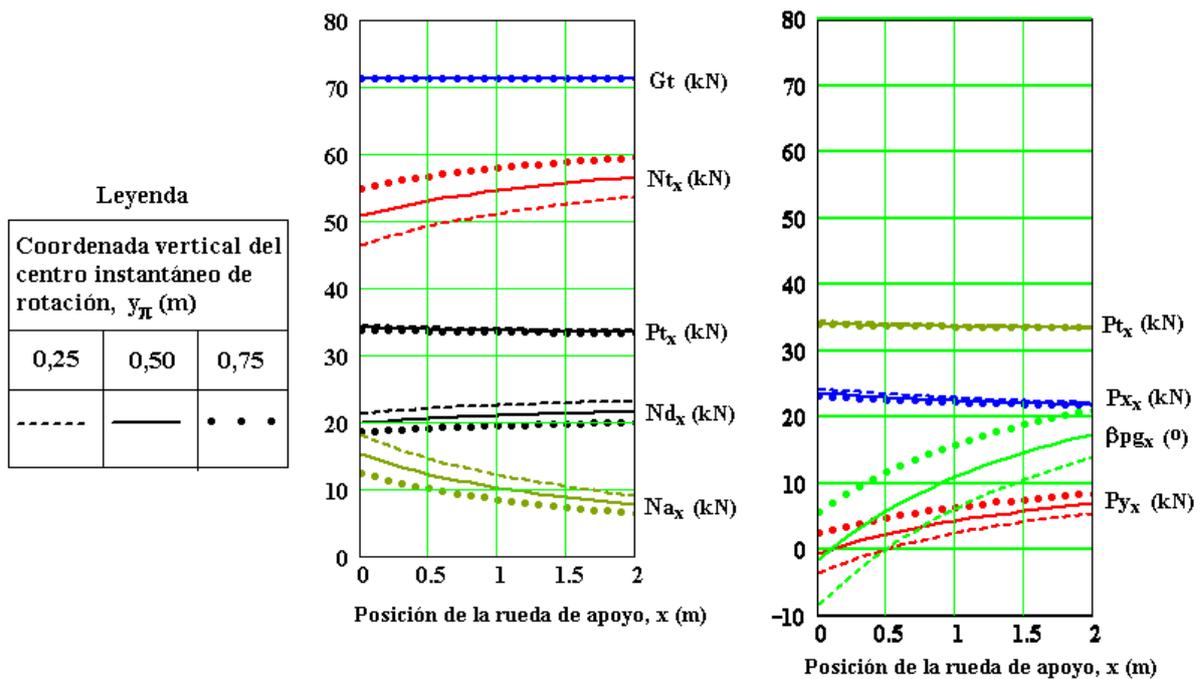


FIGURA 7. Variación de los diferentes parámetros en función de la posición de la rueda de apoyo y de la coordenada vertical (y_p) del centro instantáneo de rotación del sistema de suspensión.

de la cuña $\alpha = 30^\circ$, lo cual se considera aceptable de acuerdo a los análisis realizados. De la [Figura 5](#) se observa que en este caso se obtienen adecuados valores de la carga vertical N_t en las ruedas traseras, del orden de los 56 kN, suficiente para garantizar la transmisión de potencia durante la rodadura en condiciones normales del suelo.

Por otro lado, la carga sobre las ruedas delanteras (del orden de los 10 kN en cada rueda), posibilita garantizar una dirección estable del tractor. Asimismo se aprecia que en este caso, la carga vertical sobre la rueda de apoyo del apero no alcanza valores de los más bajos, en el rango evaluado y que a su vez se garantiza una succión

adecuada del implemento, siendo P_y del orden de los 6 kN y βp cercano a los 15° .

CONCLUSIONES

Se elabora un modelo mecánico-matemático del sistema de fuerzas que actúan sobre un agregado formado por un tractor de ruedas de goma con tracción trasera y un escarificador escalonado de cuatro cuerpos, programándose las ecuaciones obtenidas sobre la base del software Mathcad 2000 Professional, lo que permite sustituir el engorroso método tradicional de construcción de polígonos de fuerza y de rayos.

Como resultado de la aplicación del modelo, se obtiene la influencia de la posición de las ruedas de apoyo del apero, del ángulo de las cuñas de los escarificadores y de la posición del centro instantáneo de rotación del sistema de suspensión del tractor sobre parámetros de salida tales como: las reacciones verticales del suelo sobre las ruedas del tractor y la rueda de apoyo del apero, así como la magnitud y dirección de la fuerza de tiro, permitiendo evaluar las condiciones de estabilidad del agregado y de succión del apero.

La variación de la posición vertical y_π del centro instantáneo de rotación del mecanismo de suspensión, provocó las variaciones más significativas en los valores de las reacciones verticales del suelo sobre las ruedas, tanto del tractor, como del apero.

Asimismo se determinó que para posiciones de la rueda de apoyo muy cercanas a los puntos de suspensión al tractor, se produce un cambio de signo en la componente vertical P_y de la fuerza de tiro, perdiéndose la condición de succión o penetración del apero. Esta situación es más acentuada para valores menores del ángulo α de la cuña y para una pequeña altura y_π del centro instantáneo de rotación del mecanismo de suspensión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBÓNIGA, G.R.A.: "Principio de la brocha mecánica aplicado a un implemento de preparación de suelo", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuaria*, 20(4): 17-21, 2011, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.

ALBÓNIGA, G.R.A.: "Apero para la roturación y surcado basado en el principio de la

herramienta brocha mecánica", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(Especial): 31-36, 2015, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.

BETANCOURT, R.Y.; GARCÍA, I.; LÓPEZ, D.; CABRERA, A.; RODRÍGUEZ, O.M.: "Efectos de la tecnología de preparación de suelos pesados sobre la brotación de malezas en caña de azúcar", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(2): 78-81, 2008, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.

CRUZ, D.M.; HERRERA, S.M.; PITA, F.M.Á.; PEDRAZA, G.L.: "Diseño de un nuevo apero para la labranza conservacionista de los suelos cañeros", *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(1): 47-53, 2018, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-876.

DOMÍNGUEZ, C.; ALBÓNIGA, G.R.; IGLESIAS, C.C.: "Evaluación en condiciones de laboratorio de la calidad de labor de cuatro órganos escarificadores colocados de forma escalonada con ancho de trabajo decreciente", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1): 11-17, 2014, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.

FAO: *Anuario Estadístico de la FAO*, Ed. FAO, Alimentar al mundo ed., Rome, Italy, 2014, ISBN: 978-92-5-308149-3.

GÓMEZ, S.; PLATERO, B.; ROSSI, I.; PRIETO, J.: "Plantación de la caña de azúcar en surcos de base ancha", *ATAC*, 72(3): 33-38, 2011, ISSN: 0138-7553.

GURU, P.; RAMESH, K.; SINGH, V.D.; AMIT, K.; RAKESH, C.; AFZAL, A.: "Effect of planting methods on cane yield, water productivity and economics of spring planted sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in Ambala (Haryana).", *International Journal of Agricultural Engineering*, 10(1): 186-190, 2017, ISSN: 0976-7223.

HERRERA, S.M.; IGLESIAS, C.C.; RODRÍGUEZ, O.; GONZÁLEZ, C.; MADRUGA, R.: "Descompactación poscosecha de los vertisuelos mediante el empleo de escarificadores alados", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 12(1): 7-12, 2003, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.

LEYVA, S.O.; PANEQUE, R.P.; VIDAL, Y.; PARRA, S.L.; ORTIZ, A.: “Efecto de seis tecnologías de laboreo de conservación sobre un suelo aluvial”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(1): 77-80, 2007, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.

ROMER, E.; DIGONZELL, P.; SCANDALIARI, J.: *Caña semilla de alta calidad*, Ed. EEAOC (Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres), Manual del cañero, 1era edición ed., Tucumán, Argentina, 49-56 p., 2009, ISBN: 978-987-21283-7-1.

SABLIKOV, M.V.: *Fundamento de la teoría y el cálculo tecnológico*, ser. Máquinas Agrícolas, Parte II, Ed. Kolos, pp. 285-286, Rusia, 1978.

ULLAH, S.; ANJUM, S.A.; RAZA, M.M.; RIAZ, A.; ABBAS, A.; YOUSIF, M.M.; MA, J.; LIU, Y.; ZHANG, J.; CHENG, D.: “Optimizing Row Spacing to Ameliorate the Productivity of Spring Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.)”, *Agricultural Sciences*, 7(08): 531, 2016, ISSN: 2156-8561.

Yarian Reyes Suárez, Adiestrado, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: yarian@unah.edu.cu

Arturo Martínez Rodríguez, e-mail: arturo@unah.edu.cu

Armando Eloy García de la Figal Costales, e-mail: areloy@unah.edu.cu

Ernesto Ramos Carbajal, e-mail: erc670819@gmail.com

Miguel Ángel Zaldívar-Fernández, e-mail: mazldivar@unah.edu.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.