

PREDICCIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA TRACCIÓN DE LA MAQUINARIA AGRÍCOLA EN SUELOS HÚMEDOS

Omar González Cueto,* Miguel Rodríguez Orozco, Miguel Herrera Suárez; Departamento de Mecanización Agropecuaria, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Recibido: 12/enero/2004

Aprobado: 13/diciembre/2005

Las lluvias excesivas provocan la interrupción de la zafra durante tiempo prolongado en los Complejos Agroindustriales donde prevalecen los vertisoles, debido a que la tecnología cubana para el transporte y cosecha de la caña de azúcar es inadecuada para el trabajo en suelos blandos. Esta investigación se realizó con el objetivo de predecir los valores de la fuerza hacia la barra de tiro que puede desarrollar el tractor *New Holland 11090*, en condiciones de suelo húmedo (suelo blando) y establecer los límites del índice de cono a partir del cual la realización del tiro de la caña de azúcar no es posible, debido a la insuficiente capacidad de paso. El modelo utilizado fue el de *Brixius*.⁵ Los principales coeficientes y fuerzas que caracterizan la dinámica de tracción (resistencia a la rodadura, fuerza a la barra de tiro, coeficiente de resistencia a la rodadura, coeficiente de tracción neta, coeficiente de tracción bruta y eficiencia de tracción) fueron determinados en función del índice de cono. Los resultados mostraron que la realización del tiro con remolque *RA-6* (resistencia traccional 11 kN), solo se puede lograr a partir de índices de cono superiores a 400 kPa.

Palabras clave: Tracción, maquinaria agrícola, suelo húmedo, predicción.

Traction performance prediction of agricultural machinery on wet soils

Excessive rainfalls origin interruptions to the season during long time in the sugar mill where the vertisols prevails, due to Cuban technology for sugar cane transport and harvester is not able to work on soft soils. This paper have a main purpose to predict drawbar force that can develop the New Holland 11090 tractor on soil wet conditions (soft soil) and to establish the limits of cone index which it is impossible to pull sugar cane tow due to insufficient trafficability. The Brixius (5) model was used. The main ratios and forces that characterize traction dynamics (motion resistance, net traction, motion resistance ratio, gross traction ratio, net traction ratio and tractive efficiency) were obtained as a function of cone index. The results showed the RA-6 trailer only can be pulled with a cone index higher than 400 kPa, working on 20 % wheel travel reduction (wheel slip).

Key words: Traction, farm machinery, wet soil, prediction

* MSc. del Departamento de Mecanización Agropecuaria, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carr. a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, CP: 54830, VC, Cuba, telef. 05342 281692. E-mail: omar@uclv.edu.cu

INTRODUCCIÓN

Entre los suelos destinados a la producción de caña de azúcar ocupan un lugar destacado los vertisoles, los cuales, en Cuba, representan el 37 % del área.^{7,8} Estos suelos poseen condiciones físicas excelentes para el desarrollo de la plantación, sin embargo, su característico mal drenaje puede afectar su productividad agrícola y provocar la interrupción de la zafra cuando se producen intensas lluvias durante días, semanas y, en ocasiones, hasta meses.

Debido a la humedad el suelo disminuye su resistencia a la compresión y al desplazamiento y su capacidad de soportar el paso de la maquinaria agrícola, comportándose como un suelo blando. El desarrollo de nuevos remolques y la selección del tractor que permita la continuidad de la zafra en este tipo de suelos, significa la realización de costosos ensayos en condiciones de campo que pueden ser evitados utilizando las técnicas actuales de modelación matemática.

En la literatura consultada,⁵ el autor trabajó sobre las ecuaciones de Wismer y Luth,¹⁰ logrando mejorar la precisión de modelos anteriores y extender su rango de aplicación, desde mini-tractores para huerta o jardín, hasta grandes tractores pesados. Los límites aplicables incluyen todas las condiciones encontradas para neumáticos agrícolas.

El desempeño de la tracción se afecta por la resistencia del suelo a las tensiones normales y tangenciales. En general, la resistencia a las tensiones normales tiene mayor influencia sobre la resistencia al movimiento y la resistencia a las tensiones tangenciales en el patinaje del vehículo.¹¹ El penetrómetro de cono ASAE S313.3,² es el instrumento que más se utiliza para la obtención del índice de cono, pues provee información combinada de la resistencia normal y la cortante. Este se mide en los primeros 100-150 mm del suelo para los ensayos de tracción.^{6,9,11} Brixius,⁵ de acuerdo con los resultados del índice de cono (IC), se clasifican los suelos en blandos, medios

y firmes, considerando los suelos blandos desde 0 hasta 700 kPa, clasificación similar a la que adoptan otros autores.^{6,11}

Según todos esos antecedentes este trabajo se propuso alcanzar los objetivos siguientes:

1. Obtener los valores de la fuerza hacia la barra de tiro que puede desarrollar un tractor de la clase traccional 30 kN y 50 kN de peso en condiciones de suelo blando.
2. Establecer los límites de índice de cono para este tipo de tractor, a partir del cual la realización del tiro de la caña de azúcar no es posible debido a la insuficiente capacidad de paso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del modelo se escogió el tractor New Holland 110-90, con neumáticos traseros 16,9 x 38, y neumáticos delanteros 14,9 x 24 (tabla 1); con tracción delantera asistida, similar a los utilizados en los países que cosechan la caña de azúcar con alta humedad, probado en ensayos de campo en IC de 420 kPa,⁷ presente en las áreas cañeras cubanas.

Tabla 1. Principales dimensiones de los neumáticos, en mm

| Neumático | Diámetro exterior | Rim | Ancho | Altura Sección | Deflexión | Radio estático |
|-----------|-------------------|-----|-------|----------------|-----------|----------------|
| 16,9 x 38 | 1 680 | 965 | 420 | 360 | 70 | 770 |
| 14,9 x 24 | 1 250 | 610 | 380 | 320 | 60 | 560 |

Los procedimientos de cálculo se establecieron a través del modelo de predicción de Brixius,⁵ propuesto en la literatura consultada.^{3,6,9,11} Para facilitar el procesamiento los datos y ecuaciones fueron desarrollados en una hoja de cálculo de Excel.

El procedimiento se inició obteniendo el patinaje que origina eficiencia de tracción máxima. Se seleccionó un valor de índice de cono 400 kPa, correspondiente con el suelo blando y con la resistencia del vertisol a la penetración en condiciones húmedas. Se estableció un rango de

patinaje de 4 a 30 %, ya que en las condiciones normales de campo un patinaje superior al 30 % no es práctico para trabajar, y la eficiencia de tracción decrece a partir de valores de patinaje cercanos a este valor.^{1, 11, 12} Después se procedió a correr el modelo para el rango de IC de 250 a 700 kPa, con el valor del patinaje seleccionado.

Para este rango de IC la eficiencia de tracción solo alcanza 32 y 28 %, debido al alto coeficiente de resistencia a la rodadura. De los 350 kPa en adelante la eficiencia de tracción se incrementa alcanzando niveles aceptables, hasta el valor máximo de 63 % en 700 kPa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La eficiencia de tracción es comúnmente definida como la relación de la potencia de entrada al eje motor y la potencia de salida.^{1, 6, 9, 11} La ineficiencia del dispositivo de tracción es causada por pérdidas de velocidad y pérdidas de tiro, debidas al patinaje y a la resistencia a la rodadura. La eficiencia de tracción máxima fue de 0,48, y se obtuvo en patinajes de 0,16; 0,18 y 0,20. Se seleccionó el último valor para correr el modelo porque con este se obtiene la mayor fuerza de tiro. Los resultados de eficiencia son bajos debido a las altas pérdidas que se originan

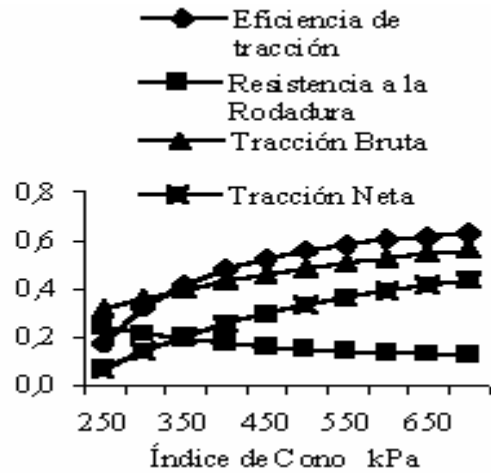


Figura 2. Coeficientes de tracción, patinaje 20 %

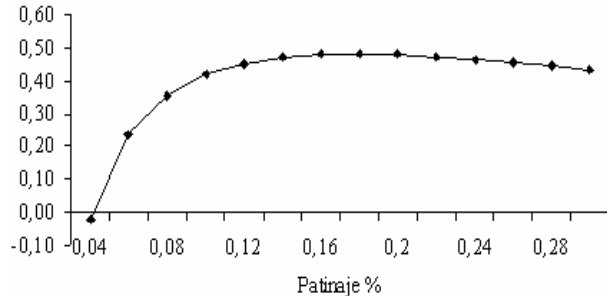


Figura 1. Eficiencia de tracción para patinaje de 4 al 30 %

Los resultados del modelo variando las condiciones de resistencia del suelo (figura 2), muestran que los coeficientes de tracción en los índices de cono (IC) de 250 a 300 kPa, tienen valores que impiden la realización de cualquier tipo de trabajo agrícola. Uno de los factores principales de pérdida de potencia en el dispositivo de tracción es la resistencia a la rodadura, la cual depende de las condiciones del suelo y de la interacción suelo-neumático. Esta implica un gasto de energía para la conformación de la huella, el empuje del suelo por delante y a los costados del neumático y en la deformación del propio rodado (4).

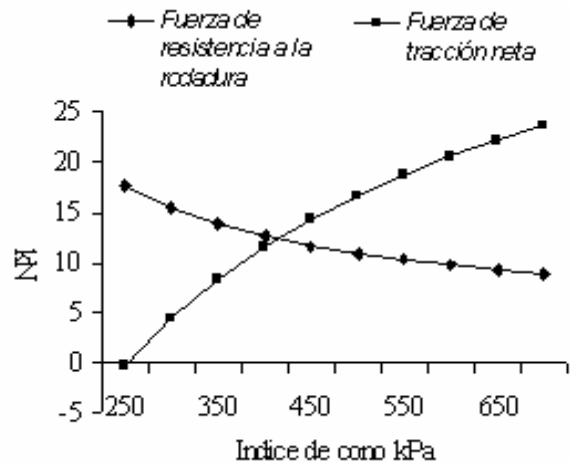


Figura 3. Desempeño en tracción, patinaje 20 %

La figura 3 muestra que en los IC de 250 a 350 kPa la fuerza a la barra es insuficiente para la realización del transporte de la caña de azúcar, ya que debido a pérdidas por resistencia alta a la rodadura la disponibilidad de fuerza a la barra de tiro es muy baja y, además, el suelo no tiene capacidad para soportar los pesados remolques cañeros, y por lo tanto, su resistencia a la tracción es superior a la tracción neta del tractor.

Para la realización del tiro con menos de 350 kPa de índice de cono es necesario disponer de un remolque que demande solo 6 kN a la barra, valor que es realmente difícil de obtener, sino imposible.

Los autores consultados,⁷ probaron el remolque cubano RA-6 en un vertisol húmedo, 420 kPa de IC y obtuvieron una resistencia a la tracción de 11 kN. A partir de los 400 kPa la fuerza a la barra de tiro es superior a la resistencia a la tracción del remolque, y por lo tanto es posible realizar el transporte de la caña de azúcar. Estos resultados son atribuibles a cualquier otro tractor de peso similar e igual tipo de neumáticos, ya que el modelo realiza la predicción sin tener en cuenta la potencia del motor, debido a que el principal factor que limita la capacidad de tracción es la adherencia con el suelo, la cual está determinada por la interfase neumático-suelo.

CONCLUSIONES

1. La tracción neta del New Holland 110-90, con IC de 400 kPa, es de 13,44 kN, valor crítico para el tiro con remolques de 11 kN de resistencia a la tracción.
2. Con el rango IC de 300 a 350 kN es necesario un remolque con menos de 7 kN de resistencia a la tracción.

BIBLIOGRAFIA

1. Al-Hamed, S. A. *et al.*: "Tractor performance spreadsheet for radial tires", *ASAE Paper*, pp. 90-1576, Michigan, ASAE, 1990.
2. ASAE: Soil cone penetrometer, Norma ASAE S313.3, Michigan, ASAE, 1999.
3. _____: Agricultural machinery management data, Norma ASAE S497.4, Michigan, ASAE, 1998.
4. Botta, G.; D. Jurajuria; L. Dragui: El esfuerzo de rodadura en función de diferentes contrapesos y tamaño de neumáticos, [bajado

de: <http://www.agro.unlpam.edu.ar/maquinaria/Tract98.pdf>], 2003.

5. Brixius, W. W.: "Traction prediction equations for bias ply tires", *ASAE Paper*, pp. 87-162, 1987.
6. Goering, C. E. *et al.*: *Off-road vehicle engineering principles*, 474 pp., Editorial ASAE, Michigan, 2003.
7. González, O.; M. Rodríguez; M. Herrera: Comparación de las cualidades de tracción del tractor MTZ 80 con neumáticos traseros dobles y neumático de alta flotación 20,8x38 con el tractor New Holland 110-90 trabajando en vertisoles con alta humedad, *Memorias de la Convención Metánica 2002*, La Habana, 2002.
8. Rodríguez, M. y otros: "Influencia de las lluvias sobre las zafra azucareras en los campos con suelos de mal drenaje", *Ciencias Técnicas Agropecuarias* (3): 55-59, 1999.
9. Srivastava, A. K.; C. E. Goering; R. Rorhbach: *Engineering Principles of Agricultural Machine*, Editorial ASAE, Michigan, 1992.
11. Wismer, R. D. and H. J. Luth: "Off road traction prediction off wheeled vehicles", *Transaction of ASAE* 10(2): 49-62, 1974.
12. Zoz, F. M. and R. D. Grisso: *Traction and tractor performance*, ASAE Distinguished Lectures Series 27, ASAE Publication Number 913C0403, Michigan, ASAE, 2003.
13. Zoz, F. M.: "Predicting tractor field performance", *ASAE Paper* (87):1623, 1987.