

# Teoría de la tracción para tractores agrícolas

Marcos Fernández Salazar\*

## INTRODUCCION

La predicción del rendimiento de tractores agrícolas en combinación con implementos, es uno de los aspectos más importantes para lograr una óptima administración de empresas agrícolas, especialmente en estos días donde los precios de los derivados del petróleo y las demandas en la producción agrícola crecen aceleradamente.

La determinación del rendimiento de tractores agrícolas no depende únicamente de factores como la fuerza y potencia de tiro, velocidad de trabajo, eficiencia tractiva, patinaje, razón de trabajo y combustible consumido por unidad de área trabajada. Existen otros factores como maniobrabilidad y estabilidad que también juegan un papel muy importante.

No se debe olvidar el efecto que el arreglo tractor – implemento produce sobre el suelo y el cultivo.

La compactación debido a transferencia y adición de peso así como las operaciones realizadas en suelos cuyos estados no son los óptimos, producen severos daños en términos de estructura del suelo y producción del cultivo que también deben tomarse en cuenta.

Es esencial que el ingeniero agrícola esté al tanto de estos factores y los comprenda.

El objetivo de este artículo es plantear los principios básicos de uno de los factores mencionados anteriormente, la eficiencia tractiva.

## FUERZA DE EMPUJE

El suelo puede exhibir propiedades cohesivas y friccionales, y estas propiedades dependen del tipo de fuerzas de unión entre las partículas.

La cohesión depende básicamente de la humedad, del contenido de arcilla y de materia orgánica.

\* El autor es M.Sc. en Ingeniería Agrícola. Actualmente es profesor de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de Costa Rica.

El intercambio de cationes produce fuerzas de unión entre las partículas del suelo, que son independientes de las presiones que se ejercen entre dichas partículas. Por el contrario, las propiedades friccionales aparecen por la presencia de fuerzas que pueden mantener las partículas unidas. Por estas razones, el esfuerzo cortante de la arcilla es independiente, teóricamente, de la carga aplicada sobre ella; pero en el caso de arena seca sucede lo contrario, ya que el esfuerzo cortante aumenta conforme las cargas aplicadas sobre ella aumentan.

Entre estos dos extremos (plástico y friccional) existe una gran variedad de suelos, que contienen ambas propiedades. Para estos últimos suelos, el esfuerzo cortante máximo se puede expresar mediante la ecuación de Coulomb:

$$\tau_{\max} = C + \sigma \tan \phi$$

Micklenthwaite fue el primero en relacionar el esfuerzo cortante del suelo, tal como era usado en la mecánica de suelos, para determinar la fuerza máxima de empuje de un vehículo de oruga. El multiplicó la ecuación anterior, por el área de contacto entre el suelo y la oruga (podría ser también por el área de contacto entre las llantas con tracción y el suelo, en el caso de tractores de llanta), obteniendo:

$$H_{\max} = b l c + W \tan \phi$$

Bekker convirtió esta ecuación en una más exacta, al introducir la fuerza cortante adicional producida por el taco de la llanta o el angular en el caso de la zapata para vehículos de llanta y oruga respectivamente, obteniendo:

$$H_{\max} = W \tan \phi \left[ 1 + (0,64) \left( \frac{h}{b} \right) \cot^{-1} \left( \frac{h}{b} \right) \right]$$

Z. Janosi y B. Hanamoto encontraron que las curvas de esfuerzos cortante – deformación, se-

guían una forma exponencial como se muestra en la siguiente expresión:

$$\tilde{\sigma} = \tilde{\sigma}_{\max} (1 - e^{-j/k})$$

Si se considera que la presión sobre el área de contacto entre el suelo y las llantas u orugas del vehículo es uniforme, entonces la deformación del suelo debajo de éstos es proporcional a la distancia frontal de la interfase suelo – vehículo.

Este factor de proporcionalidad es definido como el patinaje, así:

$$j = i x$$

Teniéndose de lo anterior que:

$$H = H_{\max} \left[ \frac{1 - (1 - e^{-jk})}{jk} \right]$$

donde:

$$jk = \frac{i l}{k}$$

por lo tanto la ecuación propuesta por Bekker se convierte en:

$$H = W \tan \theta \left[ 1 + (0,64) \left( \frac{h}{b} \right) \cot^{-1} \left( \frac{h}{b} \right) \right] \\ \left[ 1 - \frac{(1 - e^{-jk})}{jk} \right]$$

## RESISTENCIA AL RODAMIENTO:

Para suelos agrícolas, y no agrícolas, la determinación de la fuerza de resistencia al rodamiento, varía según se determinó en estudios realizados por varios autores.

Bekker consideró que siendo  $R$  relativamente pequeña comparada con  $H$ , ésta podría determinarse mediante la siguiente relación:

$$R = (0,15) (b/l) W$$

## FUERZA DE TIRO:

Es posible considerar el rendimiento de un vehículo agrícola, bajo condiciones de suelo cualesquiera, siempre que éste se pueda mover, y esta habilidad depende de la diferencia  $H-R$ , que es comúnmente conocida como la fuerza de tiro y se define como:

$$DP = H - R$$

Por lo tanto, sustituyendo las ecuaciones para el cálculo de  $H$  y de  $R$  en ésta última ecuación se tendrá que teóricamente la fuerza de tiro de un tractor viene dada por la siguiente relación:

$$DP = \left\langle W \tan \theta \left[ 1 + (0,64) \left( \frac{h}{b} \right) \cot^{-1} \left( \frac{h}{b} \right) \right] \right. \\ \left. \left[ 1 - \frac{(1 - e^{-jk})}{jk} \right] - (0,15) (b/l) \right\rangle$$

## SIMBOLOGIA:

$\tilde{\sigma}$	= esfuerzo cortante ( $N/m^2$ )
$\tilde{\sigma}_n$	= esfuerzo normal ( $N/m^2$ )
C	= cohesión aparente ( $N/m^2$ )
$\theta$	= ángulo de resistencia interna (grados)
l	= longitud del área de contacto (mm)
b	= ancho del área de contacto (mm)
h	= altura del taco o angular (mm)
j	= deformación del suelo (mm)
k	= módulo de deformación del suelo (mm)
H	= fuerza de empuje (N)
R	= resistencia al rodamiento (N)
DP	= resistencia de tiro (N)
W	= peso del tractor (N)
i	= patinaje (%)

## REFERENCIAS

1. Payne, P.C.J. and Fountaine, E.R.A. "Field Method of Measuring the Shear Strength of Soils." *Journal of Soil Science* 3 (1): 136–144, 1952
2. Reece, A.R. "Theory and Practice of off – the road locomotion." *Proc. Inst. Agric. Engrs.* 20 (2), 1964.
3. Bekker, M.G. *Off – the road locomotion*. Michigan: University of Michigan Press, 1960.
4. Jonosi, Z. and Hanamoto B. "The Analytical Determination of Drawbar pull as a Function of Slip for Tracked Vehicles in Deformable Soils." *Proc. First Int. Conf. Terrain Vehicle Systems*, Turín. 1961.
5. Reece, A.R. "Tractor Desing and Tractor Performance." *Proceedings of Agricultural Engineering Symposium*, Inglaterra. 1967.