

**CURSO PARA PROFESIONALES**

**MAQUINARIA AGRICOLA Y LABRANZA**

**Ing. Agr. (MSc) Guillermo R. Marrón  
Referente Area Mecanización Agrícola**

## MAQUINARIA AGRICOLA Y LABRANZA

Curso de capacitación  
para Asesores de Grupo de Cambio Rural  
de la EEA INTA Bordenave.

Ing. Agr. (MSc) Guillermo R. Marrón  
Referente Area Mecanización Cambio Rural  
EEAs INTA Bordenave, H. Ascasubi y ChEI Barrow

Dpto. Agronomía UNS Altos del Palihue (8000) Bahía Blanca  
Tel: 091- 30024/34775/31821 Fax: 091-21942  
e-mail: [grmarron@criba.edu.ar](mailto:grmarron@criba.edu.ar)

## INTRODUCCION

Cuando se habla de maquinaria agrícola, habitualmente se asocia la idea a un tractor tirando un arado, imagen que en nuestro país generalmente se refiere a un arado de arrastre y según zona (o enfoque con que fue tratado el tema en la etapa formativa de grado en la Facultad de Agronomía) el arado será de reja y vertedera o disco.

A medida que uno va internándose en el complejo mecanismo de tratar de interpretar para poder entender los procesos que determinan el éxito de las actividades agropecuarias, comienza a cambiar la imagen de la maquinaria agrícola citada anteriormente hasta el punto que hoy se discute a nivel nacional cuál debería ser la marca del equipo GPS (global positioning system) a incorporar a la cosechadora, sembradora o fertilizadora por citar un ejemplo solamente de los avances en tecnología que ha incorporado la maquinaria agrícola.

De todos modos, aunque la maquinaria agrícola ha evolucionado trascendentalmente desde comienzos de siglo a la fecha, la labranza sigue siendo la actividad que nuclea mayor cantidad de gente en las exposiciones dinámicas y suscita los más variados comentarios y polémicas por parte de los involucrados en el sector agropecuario por la que considero que es una razón fundamental: labrar un suelo tiene más de arte que de ciencia.

Cada suelo, asociado a las infinitas condiciones que determinarán las condiciones de humedad, textura, profundidad de horizontes, estructura y estabilidad de la misma, cobertura con su volumen, clase y estado, por citar algunas variables simples a las que ineludiblemente deberá asociarse la historia del lote en cuanto a uso agrícola y por que no ganadero, compondrá un problema único al cual deberá agregarse un tractor con un equipo de labranza conducidos por un ser humano que ya de por si es único en cuanto a variabilidad se refiere.

Todo lo expuesto hasta aquí pretende hacer reflexionar sobre la cantidad de variables que determinan una correcta labranza, cuando habitualmente uno se restringe a tratar de detectar hechos simples tales como si quedaron bordos, surcos o cascotes en superficie o si la profundidad de trabajo fue mucha o poca a criterio del que dirige la tarea.

Por la relación entre extensión de programas curriculares y tiempo material de dictado de los cursos en las Facultades de Agronomía, es raro que se analice la dinámica de la relación entre el suelo y las distintas herramientas de labranza y con acertado criterio se le de mayor importancia a la relación suelo-vegetal. Es por ello que surgió la idea de analizar en este curso algunos elementos de la relación del suelo con los actores de la labranza (el suelo mismo, el metal y su forma, el neumático agrícola y su configuración).

El tipo de análisis y el contenido del presente escrito serán del tipo básico para poder interpretar procesos y en algunos casos poder predecir con algún grado de precisión los resultados esperados de una acción mecánica sobre el suelo (labranza).

Dado el interés de los participantes, el enfoque se centrará en las herramientas de discos (casquetes) verticales fundamentalmente rastras dobles en una primer etapa y en herramientas de dientes con montantes flexibles y rígidos como son los cinceles en una segunda entrega.

El presente material es solo una guía para poder seguir el desarrollo teórico y de ninguna manera pretende ser abarcativo de la totalidad de los procesos que rigen la mecánica de la labranza sino orientativo de los mismos.

## EL SUELO ARABLE

El suelo tomado desde el punto de vista de la relación con las herramientas de labranza tiene un componente principal de análisis que es su Resistencia Mecánica.

La resistencia mecánica es la que condiciona que el suelo pueda ser laboreado con mayor o menor facilidad, es decir la Resistencia al Laboreo.

Dicha resistencia está determinada por dos componentes de estado físico que son la Resistencia Cohesiva y la Resistencia Friccional.

A continuación abordaremos el análisis de cada uno de estos factores y veremos a su vez cuales son las variables que afectan la magnitud de sus dimensiones.

## RELACIONES SUELO/SUELO Y SUELO/HERRAMIENTA

Los esfuerzos mecánicos a los que se halla sometido un suelo deformable están referidos a su resistencia a la compresión, resistencia a la tensión y resistencia al corte, siendo este último el más importante al hablar de labranza, tanto porque el suelo a labrar debe ser fundamentalmente cortado de la manera más económica en términos energéticos por la herramienta, cuanto deberá tener la suficiente resistencia como para que soporte la acción de tracción del neumático sin cortarse para que el tractor tenga piso.

Dicho en otras palabras, se genera una situación de compromiso entre la resistencia al corte para labranza y resistencia al corte para tracción (habitualmente en términos de tracción se refiere la resistencia al corte como la capacidad portante del suelo), es decir que todo lo que favorece al tiro liviano de una herramienta va en desmedro de la capacidad para traccionar del equipo motriz.

### Relación suelo/suelo

Los parámetros que definen la relación suelo/suelo son fundamentalmente:

- 1) Cohesión.
- 2) Fricción suelo/suelo (definido en función del ángulo de fricción interna  $\phi$ )
- 3) Densidad aparente.

Al analizar los valores de esfuerzo máximo de corte de un suelo en función del esfuerzo normal al mismo, es decir lo que ocurre normalmente cuando uno introduce una herramienta en el suelo que tiene determinado peso o carga vertical y la arrastra a determinada velocidad se obtiene una relación que puede ser graficada e interpretada en función de una ecuación lineal.

Tal ecuación tiene ya algunos años ya que fue determinada por Coulomb en el año 1776 y no por ello ha perdido vigencia ya que se utiliza generalizadamente para definir respuestas mecánicas del suelo principalmente.

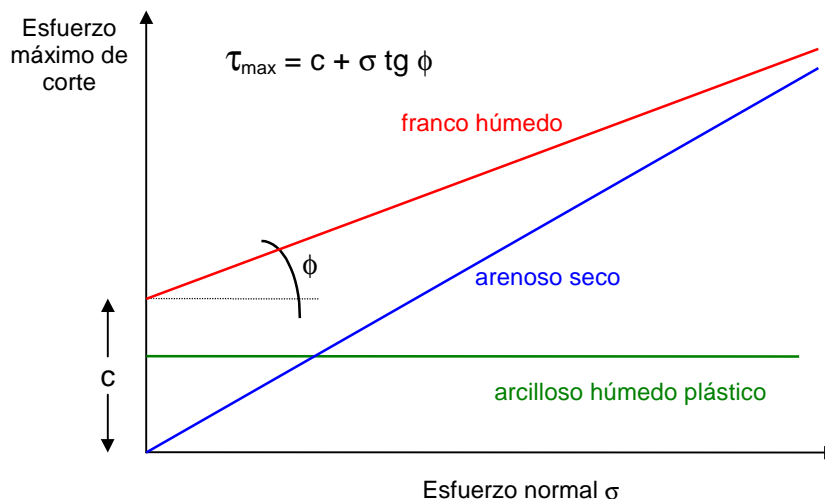
Según Coulomb, el esfuerzo máximo que puede soportar un suelo sin cortarse estará dado por la sumatoria de sus fuerzas cohesivas y las friccionalas. Dicha relación puede anotarse de la siguiente forma:

donde:

- $\tau_{\max}$  Máximo esfuerzo de corte ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $c$  Cohesión del suelo ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $\sigma$  Esfuerzo normal ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $\phi$  Angulo de fricción interna suelo/suelo

Gráficamente:

Se obtiene prácticamente una gráfica de este modo colocando una carga en kg



sobre una superficie con garras la cual se clava en el suelo y se registra la fuerza que hay que realizar para que el suelo se corte. Manteniendo la superficie se va agregando progresivamente más carga de vez en vez. El valor de cohesión se obtiene por proyección al eje de ordenadas. Obsérvese que para un suelo franco los valores de ángulo de fricción interna son intermedios, la cohesión en la arena seca es cero y el esfuerzo máximo de corte en arcilla húmeda es independiente de la carga.

Si bien los ángulos de fricción dependen fundamentalmente de la textura del suelo, para cada contenido de humedad también hay variación, no solo del ángulo de fricción sino también de la cohesión.

Valores promedio de cohesión y ángulo de fricción para distintos tipos y estado de suelo se presentan a continuación:

TIPO		ANGULO	COHESION
------	--	--------	----------

DE SUELO	ESTADO	DE FRICCION	INTERNA (kg/cm <sup>2</sup> )
Arenoso	Compactado	38° - 40°	0
Arenoso	Suelto	32° - 35°	0
Arenoso fino	Compactado	25° - 30°	0
Arenoso fino	Suelto	18° - 22°	0
Franco arenoso	Friable	24° - 28°	0,20 - 0,25
Franco arenoso	Plástico	24° - 28°	0,10 - 0,15
Franco	Friable	22° - 26°	0,25 - 0,30
Franco	Plástico	15° - 19°	0,15 - 0,20
Arcilloso	Friable	17° - 19°	0,40 - 0,60
Arcilloso	Plástico	10° - 14°	0,25 - 0,30

La cohesión depende fundamentalmente de la humedad y la textura y desde el punto de vista de la resistencia mecánica del suelo son importantes sus componentes moleculares y superficiales, es así que se definen:

Cohesión molecular: referida a la resistencia de los terrones individuales.

Cohesión superficial: referida a la resistencia de grupos de terrones.

En general puede decirse que a medida que disminuye la humedad de un suelo dado aumenta la cohesión molecular y disminuye la cohesión superficial. Obviamente que para poder desmenuzar un suelo y llegar a la siembra con pocos cascotes será necesario que las labranzas se realicen con contenidos de humedad tales en que la cohesión superficial sea mayor que la molecular. Es común escuchar lamentos sobre situaciones de camas de siembra cascotudas debido a que la labranza primaria se llevó a cabo en un momento en que la situación mencionada no se tuvo en cuenta. En general tal situación se produce cuando la parte superior del perfil está con la humedad necesaria para una buena labor pero la capa subsuperficial se encuentra con menor contenido de agua y la relación se invierte.

Esta situación va asociada a la densidad aparente del suelo ya que las capas compactadas reducen la capacidad de infiltración y por ende de humectación. Asimismo, la compactación afecta de manera directa el ángulo de fricción interna del suelo, es decir que un mismo suelo pero con mayor densidad aparente tendrá mayor ángulo de fricción.

#### Relación suelo/herramienta

Así como la resistencia al corte o cizallamiento es de fundamental importancia al tratar la relación suelo/suelo, el esfuerzo de deslizamiento es de vital importancia al tratar la relación suelo/herramienta ya que la labranza se basa en el deslizamiento del suelo por superficies metálicas con formas más o menos agudas, planas o curvadas.

Del mismo modo que se trató el tema suelo/suelo puede asociarse la ecuación de Coulomb a la relación suelo/herramienta, con la salvedad que lo que en suelo era la cohesión pasa a ser ahora adhesión (suelo/metal) y lo que era ángulo de rozamiento interno pasa a ser ahora ángulo de fricción (suelo/metal), siendo:

$$\tau'_{\max} = c_{\alpha} + \sigma \operatorname{tg} \delta$$

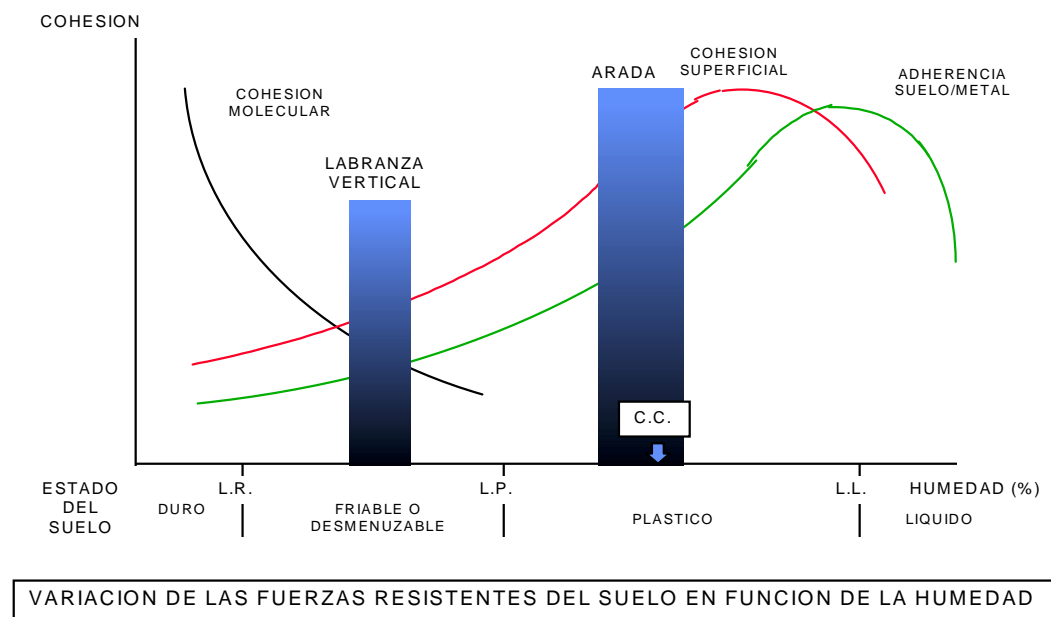
donde:

- $\tau'_{\max}$  Máximo esfuerzo de deslizamiento ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- $c_{\alpha}$  Adhesión suelo/metal ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- $\sigma$  Esfuerzo normal ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- $\delta$  Angulo de fricción suelo/metal

En general la adhesión puede definirse como la fuerza de atracción que se opone al deslizamiento del suelo sobre el metal y depende del contenido de arcilla del suelo y del contenido de humedad del mismo, alcanzando valores considerables en suelos arcillosos en estado plástico (valores desde 0,1 a 0,3  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

La fricción refiere la magnitud del rozamiento suelo/metal y depende del grado de pulido de la herramienta fundamentalmente (oxidada  $15^{\circ}$  a  $25^{\circ}$ , limpia  $5^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ , pulida hasta  $5^{\circ}$ ).

A modo de síntesis puede graficarse para un determinado tipo de suelo la variación de las propiedades dinámicas más importantes como son la cohesión molecular, la cohesión superficial y la adhesión o adherencia suelo/metal en función de la variable más dinámica del suelo como es el contenido de humedad:



Aplicaciones prácticas de la ecuación de Coulomb.



En 1944, Micklethwaite retomó la ecuación de Coulomb y la expresó en términos de fuerza para tratar de explicar modelos de tracción a campo. Es así que definió la ecuación multiplicada por el área de apoyo A:

$$\tau_{\max} \cdot A = A (c + \sigma \operatorname{tg} \phi)$$

Ello convierte a

$$\tau_{\max} \cdot A \text{ en la máxima fuerza de corte } F_{\max}$$

y convierte a

$$\sigma \cdot A \text{ en la carga normal a la superficie } Q$$

por lo tanto la ecuación puede expresarse como:

$$F_{\max} = c A + Q \operatorname{tg} \phi$$

Recordando las propiedades dinámicas de los distintos tipos de suelo hemos visto que los suelos arcillosos tienen un componente de cohesión importante pero no lo es tanto su fricción, y por otro lado cuando más arenoso es un suelo más importante será su componente friccional interno y menos su cohesión. Por lo tanto en los suelos arcillosos el segundo miembro de la ecuación es casi despreciable lo cual indicaría que es un error aumentar el lastre del tractor para buscar mejorar la tracción y en cambio es más beneficioso aumentar la superficie de pisada ya que el componente de cohesión es de importancia. Aquí un rodado más ancho o de más diámetro o el uso de duales mejorará la tracción.

En suelos arenosos donde el componente de cohesión tiene valores mínimos es más eficiente el lastrado del tractor que el aumento de la superficie de apoyo como es obvio.

Lo presentado y analizado hasta aquí permitirá al lector tener una base sobre algunas propiedades dinámicas del suelo que determinan el momento oportuno de realizar una labranza.

De todos modos es de fundamental importancia, al momento de tomar la decisión de realizar un movimiento de suelo, llevar una pala al lote y discutir con el operario la calidad de labor que se desea obtener en función del estado inicial del terreno. Muchas veces se cometen errores irreparables en un ciclo productivo pensando que se gana tiempo al profundizar en una labor, o al trabajar con herramientas de labranza vertical con escaso contenido de humedad como está escrito en más de un texto de circulación masiva.

#### BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

Ashburner, J.E. y B.G. Sims. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. IICA 1984 Cap. 1 y 2.

Gill, W.R. y G.E. Vanden Berg. Soil dynamics in tillage and traction. A. Handbook 316 USDA, 1967.

EL TRACTOR EN TAREAS DE LABRANZA.

Habitualmente si se piensa en arar se habla del trabajo del arado, de la eficiencia del mismo, si el arado se atora, bordea, levanta cascotes, etc. En realidad debería hablarse del conjunto Tractor-implemento.

Se puede tener en un establecimiento el mejor arado del mercado y del mismo modo el mejor tractor de plaza y sin embargo estar realizando una labor subóptima.

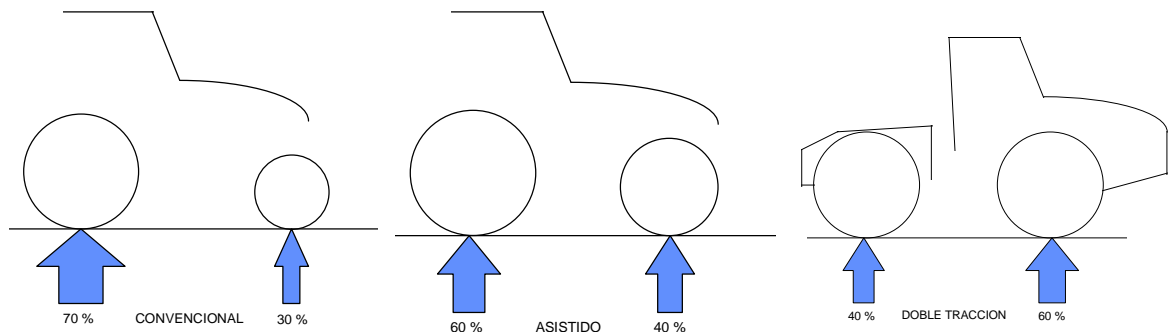
Es deseable entonces hablar de la eficiencia del conjunto tractor-implemento o dicho con mayor propiedad referir el tema a la ARMONIZACIÓN DEL CONJUNTO TRACTOR/IMPLEMENTO.

No es el objeto del presente resumen abordar con detalle las teorías de tracción, no obstante lo cual parece oportuno mencionar algunos factores que condicionan la tracción que puede desarrollar un tractor.

Es así que al hablar del tractor podemos hacerlo en función de sus tres configuraciones básicas respecto de sus trenes motrices:

- a) Tracción simple.
- b) Tracción delantera asistida.
- c) Doble tracción.

En la figura siguiente se esquematizan los sistemas citados con las distribuciones normales de peso estático que deberían respetarse.



Es importante manejar como concepto que en general aquella condición de suelo que favorece el trabajo del arado estará actuando en perjuicio de la capacidad de traccionar del tractor en la mayoría de las situaciones de campo.

Es así que la condición de suelo para una distribución de peso dada de un tractor y en función de la carga normal actuando sobre los puntos de apoyo determinarán un mayor o menor agarre de los tacos de los neumáticos.

El suelo aguanta la fuerza que hace la rueda hasta un punto máximo en que se corta (recordar Coulomb), es decir que para cada condición de suelo existirá una CAPACIDAD PORTANTE máxima que será la que estará dada por su máxima resistencia a la cizalla.

La cizalla del suelo referida a la acción de traccionar no es más que lo que a menudo llamamos patinamiento.

Dicho en otras palabras, el tractor tira hasta que el suelo aguanta luego de lo cual comienza a patinar.

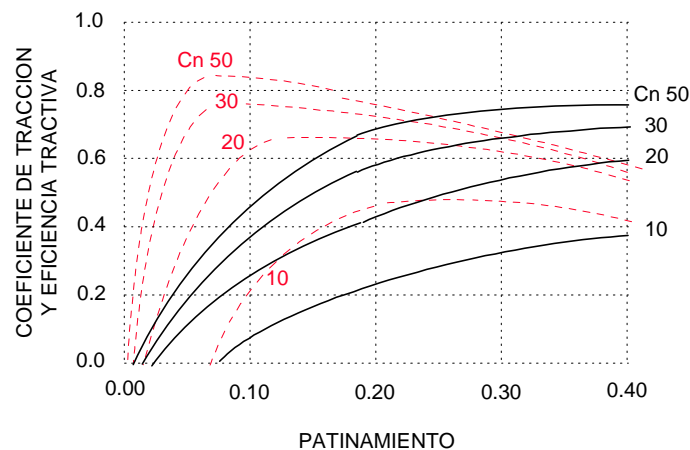
En realidad esto no es un proceso instantáneo sino que acontece gradualmente y puede abordarse pensando en una rueda tractiva como lo haremos a continuación.

## EFICIENCIA TRACTIVA Y COEFICIENTE DINÁMICO DE TRACCIÓN

La eficiencia tractiva es la relación existente entre la potencia de tiro que puede transferir una rueda al tirar en la dirección de avance y la potencia que está utilizando para moverse. Habitualmente cuando se piensa en un tractor se define como la relación existente entre la potencia que llega a la barra y la que llega al eje motriz. Obviamente que cuanto más duro esté el suelo o cuando más capacidad portante tenga la relación será alta y cuando la capacidad portante disminuya la relación disminuirá.

Asociado a la eficiencia tractiva se encuentra el coeficiente de tracción que no es sino la relación entre el peso dinámico del eje motriz y la fuerza de tiro que puede desarrollar dicho eje. Es decir que un tractor, de acuerdo a su diseño, peso, tipo de rodado, característica y estado del suelo podrá tirar como máximo un porcentaje del peso que ejerce sobre el suelo su tren o trenes motrices,

A continuación se presenta la relación existente entre la eficiencia tractiva y el coeficiente dinámico de tracción en función del patinamiento para distintos estados de suelo.



$$\text{Coeficiente de tracción} \quad t = \frac{T}{Q_A} \quad \text{—————}$$

$$\text{Eficiencia tractiva} \quad \eta_t = \frac{N_{\text{barra}}}{N_{\text{eje}}} \quad \text{-----}$$

Para poder interpretar correctamente la gráfica es necesario definir Cn o número característico de la rueda.

$$Cn = \frac{I.C.b.d}{Q_A}$$

donde

IC es la resistencia a la penetración de la capa superficial de suelo.

b es el ancho de la pisada del neumático.

d es el diámetro del neumático.

$Q_A$  es el peso adherente de la rueda.

vale decir que para una condición determinada de tractor con un lastrado fijo, las mismas gomas y el mismo enganche, la condición de resistencia a la penetración del suelo es la que define el Cn.

La resistencia a la penetración del suelo no es más que su dureza superficial y se mide mediante un penetrómetro de cono.

Un suelo agrícola en condiciones de labranza primaria generalmente tiene un Cn entre 20 y 30, lo cual al observar la gráfica indicaría que la máxima eficiencia tractiva esperable (la óptima estaría en la tangente a la curva) andará en valores cercanos a 0,6 con un patinamiento menor al 10 % y el máximo coeficiente de tracción será cercano a 0,4 con patinamientos inferiores al 15 %.

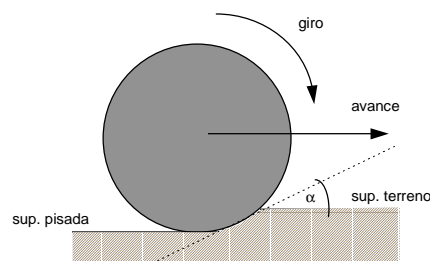
Se puede inferir que en el mejor de los casos, de la potencia que llega al eje motriz de un tractor aproximadamente el 65 % será aprovechable en la barra de tiro del mismo. Asimismo se puede predecir que un tren motriz podrá tirar hasta aproximadamente el 40 % de su carga dinámica.

En tractores con tracción delantera asistida los modelos de tracción hasta el momento no permiten predecir con precisión la performance tractiva, no obstante puede decirse que se logra una mejora del orden del 7 al 14 % en la mayoría de las situaciones.

Para doble tracción puede llegar a hablarse de eficiencias tractivas del orden de 0,72.

Se debe tener en cuenta que cuanto más blando se encuentra el suelo, más se hundirá el neumático y por lo tanto se deberá destinar potencia para el autotransporte que dejará de estar disponible para el tiro.

Gráficamente puede pensarse que el neumático permanentemente estará escalando una pendiente.



es así que cuando más blando esté el suelo para la carga que efectúe el neumático la pendiente será más empinada por lo que el ángulo  $\alpha$  será mayor. Técnicamente, la cantidad de potencia que pierde un neumático en transportarse y que no puede traducir en esfuerzo de tiro se denomina RESISTENCIA A LA RODADURA.

Habitualmente se habla en términos de COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA RODADURA (K) y se lo refiere afectando al peso adherente del tren motriz para obtener

la magnitud de esfuerzo que se resta al tiro y está íntimamente relacionado al ya visto  $C_n$  de la siguiente manera:

$$K = \frac{1,2}{C_n} + 0,04$$

Si un tractor de tracción convencional o simple pesa 5000 kg, por lo visto al referirnos a distribución de pesos tendrá unos 3500 kg de peso en su tren trasero. Si el  $C_n$  del suelo es 20,  $K$  será 0,1, por lo tanto:

$$Q.K = 3500 \cdot 0,1 = 350 \text{ kg}$$

es decir que el tractor perderá la capacidad de tirar unos 350 kg (en la práctica una reja o 0,8 disco) en autotransportarse para esa condición de suelo ( $C_n$ ).

Dependiendo del enganche y del tipo de implemento se puede lograr un mayor o menor lastrado dinámico, el cual se produce cuando se “cuelga” una herramienta de la barra de tiro del tractor.

En la mejor de las condiciones de campo y enganche es esperable una transferencia de peso del tren delantero al trasero del tractor del 25 % en equipos de arrastre.

Es decir que si el tractor del problema anterior con 5000 kg de peso total y un peso estático sobre el eje trasero de 3500 kg podrá tener un 25 % más de carga dinámica lo cual arroja 4375 kg

$$5000 \text{ kg} \cdot 0,70 \cdot 1,25 = 4375 \text{ kg}$$

Este peso deja un total de  $5000 \text{ kg} - 4375 \text{ kg} = 625 \text{ kg}$  sobre el eje delantero, lo cual en porcentaje es el 12,5 del peso total.

Ese porcentaje a menudo es suficiente para lograr dirección. En caso que el tractor no doble en las cabeceras debido a que está liviano adelante se deberá lastrar. Es común ver tractores con todos los valijines delanteros como vinieron de fábrica realizando labores para las que no se requieren adelante y el grado de patinamiento del tren trasero es alto. Sería más eficiente cargar los valijines en la cabina del tractor si es que el suelo sugiere la posibilidad del lastrado.

## BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

Basso Castellarin, H.D. 1990. Primera ponencia en trabajos de tracción. 19 Feria Técnica Internacional de la Maquinaria Agrícola de Zaragoza (España).

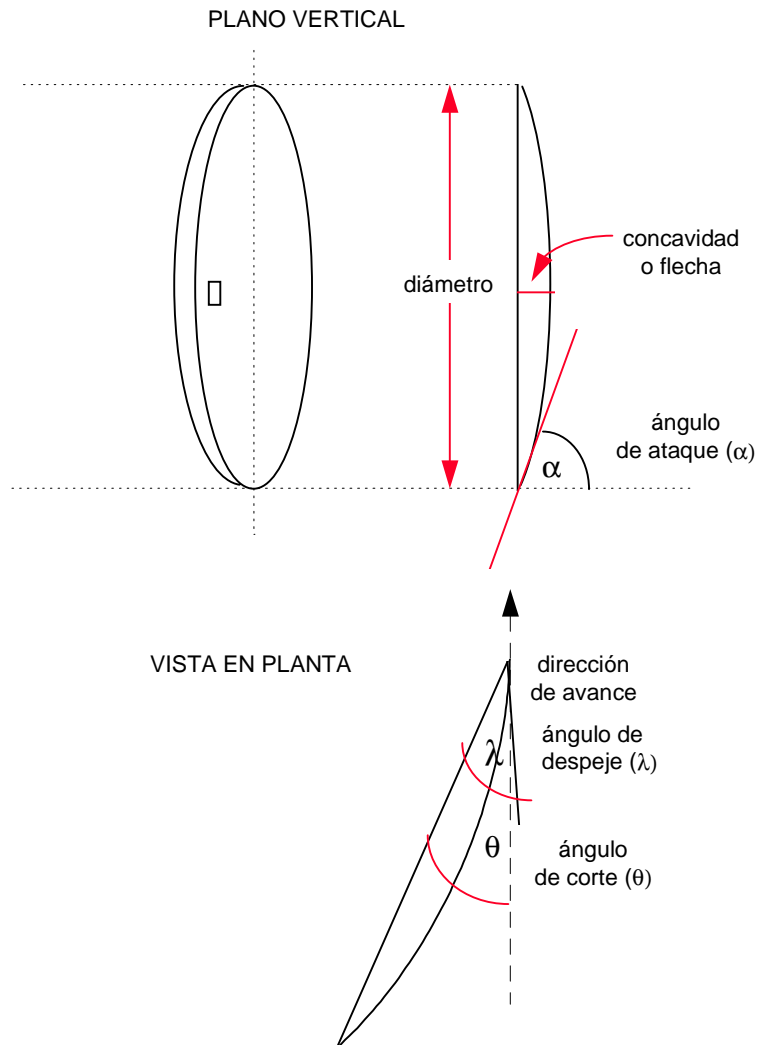
Linares, P. 1996. Teoría de la Tracción de Tractores Agrícolas. Univ. Polit.de Madrid.

Diversos trabajos de revistas especializadas recopilados.  
LABRANZA CON DISCOS (CASQUETES).

Es muy común en nuestra región el empleo de herramientas cuyo órgano activo principal es el disco, siendo el arado de discos, el arado rastra y las rastras excéntricas y dobles las más comunes herramientas utilizadas en labranza primaria.

No es propósito del presente material la descripción de las herramientas citadas sino a pedido de los interesados centrar el análisis dinámico en las rastras dobles.

Como primera medida es necesario describir las dimensiones del disco de labranza.



Los discos tradicionales están constituidos en forma de secciones de superficies esféricas (casquetes esféricos). La principal componente es el radio de la esfera para un dado diámetro del disco. Cuanto más pequeño es el radio de la esfera mayor será la concavidad del disco y más pequeño será el ángulo de ataque o penetración  $\alpha$ .

Es por ello que a igual diámetro de disco, aquellos con más flecha o curvatura tendrán mayor dificultad de penetración porque apoyan mayor superficie sobre el terreno.

Otro componente importante es el ángulo de corte (habitualmente llamado cruce) simbolizado  $\theta$ . En el plano horizontal, es decir paralelo a la dirección de avance, el filo del disco respecto a la dirección de avance determina el ángulo de despeje  $\lambda$ .

A medida que el ángulo de corte disminuye (se abre la herramienta), el ángulo de despeje comienza a semejarse a aquel y comienza a producirse un barrido de suelo que produce arrastre hacia adelante, hacia el lateral y fundamentalmente hacia abajo lo cual determina que la herramienta se levante si no tiene el peso suficiente.

No obstante a medida que  $\theta$  se hace más pequeño que  $\lambda$  disminuye el requerimiento traccional de la herramienta.

En suelos franco arenosos se han estudiado discos de 24" con el mismo diámetro pero con distinta concavidad y en general puede decirse que los menores requerimientos de esfuerzo de tiro ocurren en el rango de 20° a 30° de cruce. El valor mínimo de demanda de tiro acontece cuando el cruce es menor que el ángulo de despeje.

Existe un rápido aumento de la fuerza vertical (tiende a sacar al disco de la tierra) cuando el ángulo de cruce es menor que el ángulo de despeje.

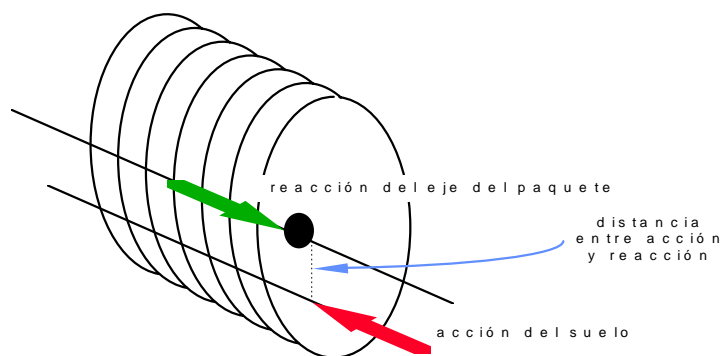
Hay una inversión en la dirección de las fuerzas laterales con ángulos de cruce en el intervalo de 10° a 25°. Esto ocurre a valores de cruce menores que el ángulo de despeje y por lo tanto deberá haber algún barrido de suelo para balancear los componentes pasivos (ello ocurre si hay suficiente peso sobre el disco, porque de lo contrario el suelo levantará al disco).

La profundidad de trabajo hace aumentar la magnitud de las fuerzas.

La resistencia específica del suelo ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) es decir la fuerza necesaria para mover una determinada área frontal de suelo se minimiza para cruces de 25°, luego de lo cual el aumento de esfuerzo es mucho mayor que el área removida.

Evidentemente a medida que se trabaja con discos de mayor concavidad y por lo tanto con mayores ángulos de despeje, será necesario trabajarlos más abiertos para optimizar sus componentes de resistencia sobre el suelo y reducir el desgaste que promueven las fuerzas laterales o de barrido sobre el metal.

Un factor importante a tener en cuenta en las rastras es el momento de fuerzas que se genera sobre los paquetes al trabajar como se presenta en la siguiente figura.



De acuerdo a la profundidad de trabajo y al cruce del paquete, la magnitud de la fuerza de acción del suelo sobre la cara cóncava del primer disco originará una cupla ya que la reacción del implemento estará dada a una altura sobre el suelo que es el centro de giro del disco, es decir el eje principal.

Esta cupla o momento de fuerzas hace que la herramienta tienda a girar para clavarse en el terreno, por lo cual el primer disco sufre un desgaste prematuro respecto al resto.

La manera de minimizar esto es contrapesando la rastra en el extremo opuesto, lo cual deberá ser un compromiso de diseño. Si la rastra tiende a levantarse en el extremo puede actuarse sobre la profundidad o la velocidad antes que intentar un contrapesado casero, ya que el momento torsional a que estará sometido el bastidor no estuvo previsto por fábrica y tarde o temprano el material sufrirá fatiga.

Como comentario general de las rastras es necesario comprender que su origen fue para trabajar en el desmalezado y emparejado del terreno. Como cualquier implemento, en el caso de hacerlo robusto permitirá realizar trabajos en profundidad y hasta una labranza primaria, por lo tanto se debe reflexionar que al trabajar con una rastra doble precisamente lo que se está haciendo es un doble trabajo del suelo con desplazamiento lateral, inversión, desmenuzado y mezclado del mismo.

La mayoría de las veces cuando se detiene la herramienta y se observa el trabajo que realizó el implemento entre paquetes delanteros y traseros se llega a la conclusión que el pasaje del paquete trasero no sería necesario y es aquí cuando se debería reflexionar sobre la utilidad del arado rastra y de la rastra doble como herramienta de repaso tal como fue concebida primariamente.

Por último, es necesario recordar que como toda herramienta de labranza, una rastra doble deberá trabajar horizontal. Es común observar el paquete trasero más clavado que el delantero. Ello repercute sobre la resistencia del bastidor a la fatiga, especialmente cuando no se tiene en cuenta el cruce de los paquetes y se intenta nivelar la rastra con el tornillo.

Obviamente, debido a la distinta condición de suelo que reciben los paquetes delanteros respecto de los traseros, se deberá trabajar con estos últimos más abiertos para evitar el clavado trasero.

#### BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA.

Godwin, R.J., D.A. Seig y M. Allot (1987). Soil failure and force prediction for soil engaging discs. Soil use and management. 3 (3): 106-114.

Diversos trabajos de revistas especializadas recopilados.